

**ESTIMACIÓN DE UN PRONÓSTICO DE EXPORTACIONES DE CAFÉ SUAVE
COLOMBIANO: REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y ARDL (ene-dic 2012).**

JUAN GABRIEL GIL SERNA

Tesis de maestría presentada como requisito parcial para optar al título de Magíster en
Economía

Asesora: Olga Lucía Quintero Montoya. Dr.

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

2015

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Medellín (__ / __ / __)

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4.1. OBJETIVO GENERAL	21
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
5. MARCO TEÓRICO.....	22
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	22
5.2. ANTECEDENTES	27
6. METODOLOGÍA	30
6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES (ENTRADAS Y SALIDA).....	30
6.1.1. Volumen de exportaciones.....	31
6.1.2. Tipo de cambio.....	35
6.1.3. Precio Internacional del café colombiano.	40
6.1.4. Precipitaciones en las Zonas cafeteras	46
6.2. ESTIMACIÓN DEL PRONÓSTICO	50
6.2.1 Modelo de series de tiempo (Autoregressive Distributed Lag – ARDL –).....	52
6.2.2. Redes Neuronales Artificiales –RNA–..	73
7. CONCLUSIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Nivel mensual de exportaciones de café colombiano. 1959-2015.....	32
Gráfico 2 Participación en el volumen de exportaciones a nivel mundial (1990-2015).....	34
Gráfico 3 Comportamiento mensual de la Tasa de Cambio Real (US/COP) contra el nivel de exportaciones de café suave colombiano. 1990-2012.....	38
Gráfico 4 Comportamiento del Precio internacional del café nominal vs. Real. 1990- 2011	42
Gráfico 5 Precio internacional del café mensual contra su nivel de exportaciones. 1990-2012	43
Gráfico 6 Precio internacional del café y Tipo de Cambio real (USD/COP). 1990-2012	44
Gráfico 7 Precipitaciones mensuales y producción de café a nivel nacional. 1990-2012.....	48
Gráfico 8 Precipitaciones mensuales y nivel de exportaciones colombianas de café. 1990-2012.....	48
Gráfico 9 Recurrencia en la aparición de fenómenos meteorológicos (El Niño y La Niña). 1988-2012	49
Gráfico 10 Test de distribución normal para los residuos.....	65
Gráfico 11 Serie estimada vs observada para exportaciones de café suave colombiano (cientos de sacos de 60 kg). 1990-2012	69
Gráfico 12 Errores de la muestra (sacos de 60kg)	70
Gráfico 13 Bandas de confianza para la serie estimada (cientos de sacos de 60 kg).....	71
Gráfico 14 Pronósticos fuera de muestra un año para exportaciones de café suave colombiano (cientos de sacos de 60kg)	72
Gráfico 15 Errores de pronóstico a un año de las exportaciones de café suave colombiano (sacos de 60kg). Mensual 2012	72
Gráfico 17 RNA Exportaciones de café colombiano Vs. comportamiento de la variable sin transformación. Intramuestra (1990-2012)	79
Gráfico 18 Pronóstico RNA vs observado exportaciones de café suave colombiano. 2012.....	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Razones de pobreza por zona 2001 y 2003 (en porcentajes)	18
Tabla 2 Resultados de la prueba ADF. Análisis presencia de raíces unitarias. Datos mensuales 1990-2012	57
Tabla 3 Estadísticos de error de estimación RNA <i>feedforward</i> vs ARDL.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Red Neuronal Artificial	24
Figura 2 Forma reducida de una RNA	73

Resumen. La producción de café colombiano ha sufrido múltiples cambios en todos los niveles, a saber, el político, económico, social, cultural y ambiental. El desarrollo de la caficultura nacional ha dependido fehacientemente de choques externos como la volatilidad del tipo de cambio, la variabilidad de su precio internacional y las fuertes condiciones climáticas que se han intensificado durante los últimos años. Asimismo, el rompimiento del pacto de cuotas en 1989 dejó fuerte afecciones en términos de la pérdida de mercado del producto colombiano, que se vio reflejada en un ambiente interno poco favorable en términos del desempleo, la productividad, las ganancias de los productores, la calidad de vida de los pequeños y mediano caficultores, y en general, de la importancia de la caficultura para la economía del país; luego de haber sostenido su dinámica macroeconómica durante más de un siglo e incentivar a la par el desarrollo de su industria e infraestructura. Por estas razones, el interés de este trabajo se concentra en un análisis para establecer que incidencia poseen las tres variables mencionadas sobre el nivel de exportaciones de café suave colombiano para el periodo enero-diciembre del 2012, por medio de una estimación y comparación entre el uso de un modelo *feedforward* de Redes Neuronales Artificiales contra un modelo econométrico ARDL. Los resultados mostrarán mejores ajustes en el error de predicción por parte de las redes y ofrecerán visiones tanto de la situación actual como de la más próxima al respecto de las mismas.

Palabras claves: Modelos no lineales, Redes Neuronales Artificiales, ARDL, pronósticos, caficultura colombiana.

1. INTRODUCCIÓN

La caficultura colombiana como actor importante, ha sido objeto de múltiples transformaciones dentro de la economía nacional. Históricamente condujo las finanzas colombianas, la política macroeconómica durante más de un siglo y gran parte de la infraestructura vial e industrial del país. Socialmente atrajo una grande masa de empleo campesino y urbano, con el establecimiento de fábricas para la transformación del grano y la producción de bienes y servicios incluidos en su cadena productiva, asunto que atrajo consigo también una importante movilización poblacional en los centros del desarrollo cafetero y que luego sería impactada negativamente con las subsecuentes crisis posteriores al rompimiento del pacto de cuotas de 1989. Políticamente, desencadenó toda una renovación en la estructura de la gestión pública a favor de la mitigación de los efectos que dejó a su paso, en compañía de la implementación del neoliberalismo en Colombia. Culturalmente, hizo reconocer al país como uno de los más importantes productores y exportadores de los excelsos cafés suaves, creando una imagen a nivel internacional.

Fueron muchos los impactos que la producción del grano dejó a su paso, y seguramente muchos se escapan de la descripción de este trabajo; no obstante, en la actualidad se prevé como uno de los sectores que posee mayores obstáculos para generar una mayor producción en comparación a años anteriores. Estas dificultades van desde las técnicas y tecnologías de tratamiento de los cultivos, la mitigación de los efectos de los choques externos, en términos de algunas variables económicas y el cambio climático, y una política pública poco eficiente en los momentos de actuar frente a los rezagos de éste y otros tipos de escenarios.

Tres variables escogidas que presuponen directa influencia sobre la dinámica de las exportaciones de café suave colombiano y sobre su nivel en los mercados internacionales, han sido su precio internacional, el tipo de cambio y el nivel de precipitaciones en las zonas cafeteras.

Su descripción demuestra que en un primer momento, el cambio climático se ha establecido como una condición transversal, no sólo para la caficultura, sino para la agricultura en general. Los análisis demuestran escenarios poco favorecedores a raíz de la aparición de fenómenos como El Niño y La Niña, siendo este último el que mayores estragos ha causado en aspectos como la proliferación de plagas y enfermedades de difícil manejo.

A ello, se suma un alcance técnico y tecnológico limitado, que no ha permitido por parte de los productores realizar un frente fuerte no sólo a nivel de los efectos, sino también de las prevenciones. Para dar algunos ejemplos, junto con el crecimiento en el precio internacional de los *commodities*, se adiciona el aumento en los precios de los insumos. Con precios más altos en la producción, pueden suceder dos cosas, una en donde el pequeño y mediano agricultor, principalmente, no posee una adecuada gestión de los recursos financieros como para acceder a estos insumos; y otra, en donde el uso de los mismos resulta poco eficiente, dejando como resultado un grano de menor calidad para la venta en el mercado externo.

En cuanto al tipo de cambio y el precio de internacional suceden relaciones interesantes. Cuando el primero sube (baja) las transacciones en los mercados se hacen más costosas en términos de devaluación (revaluación) de las divisas frente al dólar. Luego, las especulaciones en torno a los beneficios obtenidos por un mayor precio, incentiva (desmotiva) la producción de los bienes, creando así escenarios de mayor oferta que provocan disminuciones (aumento) en los precios internacionales.

En este sentido, se ha observado un ambiente de aversión al riesgo por parte de los productores colombianos, pues los análisis enseñan que pese a un tipo de cambio bajo, los escenarios de precios internacionales altos no han sido aprovechados, aun cuando se han venido reconociendo aumentos en las demandas por parte de las economías emergentes en donde los ingresos de los hogares han ido creciendo. Asimismo, se menciona una mayor demanda en el mercado de bebidas calientes, especialmente tipo gourmet, en donde el café suave colombiano cumple las expectativas de los nuevos tipos de consumidores.

A su vez, este tipo de coyunturas se han previsto como resultado, principalmente, del rompimiento del pacto de cuotas en 1989, cuyo objetivo delimitaba mediante un acuerdo la

capacidad de oferta del mercado internacional del café y en donde cada productor poseía un tope o cuota para la producción sin que ello significase una exacerbada competencia, con el fin de cumplir con la cuantía de demanda mundial. No obstante, los países consumidores dictaminaron el rompimiento, motivados por la idea en la que la calidad del grano se suponía mayor que su cantidad, liberando el mercado y rompiendo los topes. Con ello, Colombia ya no tenía tan asegurada su demanda en los inventarios globales, la competencia se hizo fuerte con las exportaciones brasileñas y los nuevos cafés asiáticos emergentes.

Internamente, se observaron grandes afecciones, especialmente al respecto del orden del mercado laboral del café, que frente a la pérdida de dinamismo, ocasionó una fuerte oleada de desempleo que impactó severamente la calidad de vida de las tradicionales familias productoras, los nuevos cafeteros de gran escala y demás actores inseridos en la cadena productiva. Luego, un escenario de tipo de cambio entre bandas durante el mandato Samper, produjo pérdidas para los productores frente a escenario de bajos precios internacionales ocasionados por los nuevos excesos de oferta.

Con dichas colocaciones, este trabajo posee como objetivo observar el impacto que poseen estas variables en la elaboración de un pronóstico de exportaciones de café colombiano, a través un comparativo en el ajuste de un modelo de Redes Neuronales Artificiales y un modelo lineal, con el fin de obtener herramientas útiles para el análisis del desarrollo de la caficultura colombiana. Con respecto a las herramientas metodológicas, el tema de investigación aprovechará la naturaleza del objetivo planteado para realizar comprobaciones al respecto del uso de estas dos técnicas de predicción, pretendiendo observar sus capacidades en términos del ajuste tanto intramuestra (dentro de la muestra) como fuera de la muestra.

Finalmente, se reconocerá que el uso de un modelo *feedforward* de Redes Neuronales Artificiales posee mejores ajustes en términos de los errores de predicción, especialmente fuera de la muestra, mientras que el uso de un modelo lineal ARDL comete mayores errores. Igualmente, se rescata el origen no lineal de las redes haciendo una mejor aproximación del comportamiento real de las variables, asunto que los modelos econométricos no logran al

realizar diferentes procesos de linealización que se traducen en mayores pérdidas de la información real.

En este sentido, la investigación será repartida en 7 capítulos principales, que incluyen esta introducción. El segundo y tercer capítulo plantean el problema de investigación y su correspondiente justificación; el cuarto capítulo establece el objetivo central y los objetivos específicos que servirán de guía para el desarrollo del primero; el quinto realiza un recuento del marco teórico que establece conceptos básicos sobre el uso de las Redes Neuronales Artificiales para pronósticos, seguido de una breve revisión de trabajos científicos que hicieron uso de esta técnica comparada con modelos lineales, obteniendo éxito con la aplicación de las primeras. El sexto capítulo desarrolla todo el aspecto metodológico que contiene el análisis macroeconómico e histórico en el periodo de 1990-2012 para cada una de las variables envueltas, el desarrollo de las técnicas de estimación y pronóstico de las mismas y la discusión de sus resultados, tanto a nivel de método como a nivel del análisis que posee la situación de la caficultura colombiana y su posible futuro. Finalmente, se poseen algunas consideraciones y conclusiones.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia afronta ciertos problemas de producción y productividad del café de exportación debido a distintas situaciones, entre las que se encuentran el cambio climático, el manejo indebido de los cafetales por parte de pequeños caficultores, la volatilidad de los precios internacionales, un tipo de cambio que deja desventajas en las transacciones, una no muy efectiva gestión de los entes estatales correspondientes, entre otras. Es así como la contribución colombiana al volumen del café internacional, ha presentado un descenso considerable, que contradictoriamente se desenvuelve en “un contexto de aumento en la producción y el consumo mundial. [Es así como] desde el rompimiento del pacto de cuotas en 1989, la producción mundial pasó de 90 millones de sacos a una producción de 131 millones para el año cafetero 2011/2012”¹, escenario en el que Colombia no se preparó correctamente para afrontar la nueva apertura de mercado.

Como resultado, se señala entonces que “en materia de exportaciones, tras haber aportado Colombia más de una quinta parte de las mismas, durante las décadas de los sesentas y setentas del siglo anterior, pasó a participar con el 6,8% en el año cafetero 2008/9 y con el 6,3% en el 2010/11, cuando las exportaciones fueron de 103.2 millones. En la actualidad Colombia es el tercer exportador mundial detrás de Brasil y Vietnam, aunque todavía es el primero en cafés suaves”²

Este comportamiento de la participación del café colombiano en el mercado internacional, no es más que el resultado de una serie de condiciones internas y externas que han venido afectando paulatinamente los aspectos de producción y productividad, y frente a las cuales no se han tomado medidas efectivas para mitigar los efectos y, en algunos casos, las causas.

¹ CANO SANZ, Carlos et al. El mercado mundial del café y su impacto en Colombia. Borradores de Economía. Banco de la República de Colombia, 2012. p.7.

² Ibíd., p.8.

El cambio climático, por ejemplo, se convierte en un choque transversal en todas las labores agrícolas, en donde la caficultura no ha sido la excepción. La volatilidad en los niveles de lluvias, traducida en déficits y excesos de precipitaciones, ha afectado las zonas cafeteras con especial rigor desfavoreciendo, específicamente, el desarrollo normal de los frutos y sus cafetos. De acuerdo a Ortiz³, “el ciclo de este cultivo depende del régimen de precipitaciones, dado que las primeras lluvias dan origen a la floración. Sin embargo, cuando las precipitaciones son bajas o elevadas, el cafeto florece y los frutos caen de los árboles, lo que reduce la calidad del café y disminuye los precios de mercado”.

A su vez, el nivel de calidad de vida en familias caficultoras de Colombia se refleja en un entorno lleno de dificultades para el desarrollo de la actividad, especialmente porque la falta de educación y comunicación recaen en una gestión inadecuada de los cultivos –en los órdenes de los recursos físicos, financieros, humanos y ambientales–, y una baja productividad, relegando la producción de café al agronegocio de grandes firmas que poseen un mayor control de negociación y herramientas para mitigar los impactos externos e internos que afectan la producción y comercialización del grano.

En este sentido, vale la pena reconocer que la cultura desenvuelta alrededor del tradicional campesino y los modos ancestrales en los que él ejecuta su caficultura, representa un fuerte mercadoría que no está siendo correctamente aprovechada por los mismos –como en los mercados modernos, especialmente los de comercio justo, productos orgánicos y étnicos–, y de la cual el agronegocio está generando grandes beneficios. Así las cosas, se está perdiendo un grande e importante grupo productivo –que posee pocas herramientas para la competitividad, el acceso a los mercados internacionales, la negociación en la aplicación de la política pública y para la generación de desarrollo territorial y la gobernanza–, pero que posee características especiales que lo hacen atractivo frente a nuevos tipos de consumidores, interesados por establecer relaciones mercantiles no anónimas con los productores y su historia.

³ ORTIZ, Rodomiro. El Cambio climático y la producción agrícola. Banco Interamericano de Desarrollo, 2012. p. 12.

Por otro lado, los escenarios internacionales han desestabilizado los mercados de materias primas y *commodities*, entre los que se encuentra el café, con la presencia de un tipo de cambio que favorece el aumento en los precios de los insumos productivos, los cuales poseen una mayor demanda cuando los cultivos presentan plagas y enfermedades correspondientes a acciones inefectivas frente a fenómenos ambientales. Adicionalmente, los precios internacionales del grano exponen volatilidades poco compensadoras en términos de beneficios económicos para el pequeño y mediano productor, que carece de un aparato productivo fuerte para hacer frente a estos choques.

Ahora bien, de acuerdo a las problemáticas brevemente señaladas, la intención de esta investigación pretende responder, a través de análisis metodológicos ¿Cómo se prevé el comportamiento de las exportaciones de café colombiano para el periodo enero-diciembre de 2012, dadas las condiciones en las que se ha desarrollado históricamente su producción y productividad en el país?

Adicionalmente, al querer estimar un pronósticos, se aprovechará el escenario para realizar una comparación a nivel metodológico sobre las ventajas que posee aplicar Redes Neuronales Artificiales en lugar de series de tiempo, lo cual ha sido repetidamente usado por algunos autores y ofrecido resultados satisfactorios para consecuentes interpretaciones a nivel macroeconómico.

3. JUSTIFICACIÓN

El café ha ocupado un espacio privilegiado en el desarrollo histórico de la economía colombiana, no sólo por ser el producto que apoyó la macroeconomía del país – principalmente en asuntos como la estabilidad monetaria y cambiaria– y jalonar su crecimiento en general por más de un siglo, sino por ser un sello característico colombiano en el ámbito internacional.

Cano et al⁴, destacan la participación del grano en el Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario, con una representación cercana al 25% para finales de la década del setenta, y un 3% en el PIB total a finales de los años ochenta; mientras que en términos de exportaciones y producción, se especifica una participación del 50% y 60% de total de exportaciones para los periodos 1970-1986 y finales de los setenta, respectivamente, y una histórica cifra de 16 millones sacos de café verde producido para el periodo 1991-1992.

No obstante, para los años posteriores al rompimiento del pacto de cuotas en 1989, la liberación del mercado impactó las agremiaciones de productores de café y otros acuerdos comerciales sucedidos a la luz del pacto, asunto que generó ambientes de incertidumbre y especulación alrededor de variables como el precio internacional y el tipo de cambio. Mientras que para algunos países fue una ventaja en términos de una mayor inclusión de los productores en los mercados, lo cual se vio reflejado en un aumento considerable de la producción a nivel mundial y una mayor participación de países como Brasil y Vietnam, para otros el rompimiento se tradujo en mayores dificultades para la negociación y acceso y sostenimiento de las relaciones en nuevos y viejos mercados.

⁴ CANO SANZ, Carlos et al, Óp. cit. p. 10-11

Consecuentemente, la efectividad de la política pública a nivel interno sufrió una desestabilización, como lo fue el caso de la caficultura colombiana, viéndose negativamente afectada tanto en sus aportes al producto nacional, como en el mercado cafetero internacional.

Así las cosas, los actores gremiales e individuales de la caficultura nacional terminaron siendo los más indefensos y menos preparados para actuar en el nuevo escenario mundial del café de libre competencia, quizá porque habían contado con instituciones que ofrecían seguridad y protección y los eximían de la necesidad de tomar decisiones. Así, “Colombia obtiene una pérdida 7 puntos porcentuales entre 1989 y 2011 en la producción mundial, mientras que Brasil la aumentó en 13 puntos porcentuales, y han surgido nuevos jugadores, principalmente en Asia, como Vietnam e Indonesia, que desplazaron a Colombia del segundo lugar⁵ que ocupó por muchos años en la producción”⁶.

Por otro lado la fuerza de la actividad minero-energética en el PIB colombiano, pareciera haber llamado mayor atención de los inversionistas, luego de que la extracción de minerales e hidrocarburos posee un gran valor en el mercado de los *commodities* a nivel mundial. Es así como “en la década del 70 el café contribuyó con el 54% de las exportaciones de bienes totales, mientras el petróleo y sus derivados sólo sumaban el 6%. En los ochenta el café participó con el 42% y el petróleo con el 13%. En los noventa el petróleo con 21% ya superaba al café, que participó con 18%. En la primera década del nuevo siglo, el café pesaba sólo el 5,9% y el petróleo el 27,2% de las exportaciones totales”⁷.

En simultánea, la producción del grano se ha visto afectada por otras causas exógenas, como una débil estructura técnica y tecnológica para hacer frente a los efectos del cambio climático sobre los cafetales, bajos niveles de desarrollo humano en los pequeños caficultores y una ineficiente gestión de los recursos del Fondo Nacional Cafetero (FNC) por parte de las instituciones públicas.

⁵ Entre 1965 y 1995 Colombia contribuyó, en promedio, con el 13.5% de la producción mundial, y entre 2000 y 2011 con el 7.6%

⁶ *Ibíd.*, p. 7.

⁷ *Ibíd.*, p. 11.

Con respecto a la primera causa, y que será desarrollada con mayor intensidad en próximos capítulos, se ha observado que un aumento en la intensificación de las lluvias debido a la llegada del fenómeno de la niña para los últimos años de estudio, se caracterizó por una considerable disminución en las producciones y consiguientes exportaciones del café, debido a las afecciones provocadas en el desarrollo de la etapa de floración de los cafetos, con plagas y enfermedades como la roya y la broca. Este panorama afectó seriamente la calidad del grano colombiano, que al no poseer las suficientes herramientas para mitigar este tipo de efectos, una importante parte de pequeños productores se vio en la obligación de disminuir sus precios de venta inclusive por debajo de los costos de producción, que fueron mayores al percibirse una mayor demanda, entre otros asuntos.

Una segunda causa, se presenta con una caficultura colombiana desarrollada en un ambiente de distintas problemáticas sociales que afectan la productividad de manera negativa. Según el Informe Regional para el Desarrollo Humano, aplicado para el Eje Cafetero en el 2004, son señaladas diferentes situaciones. Una de las más relevantes es el impacto que dejó la crisis cafetera posterior al rompimiento del pacto de cuotas de 1989, en donde el mercado de trabajo fue seriamente afectado, con un aumento simultáneo de la fuerza de trabajo y de las tasas de desempleos y subempleos, lo cual generó un ambiente propicio para la proliferación de la pobreza.

Consecuentemente, la baja pronunciada de los precios del café, sumada a un desempleo creciente, dejó impactos considerables en el IDH de la región, observando que “en el último año de análisis (2002) [el valor del IDH de los tres departamentos del Eje] fue prácticamente igual al que obtuvo cada uno en el primero (1993), lo que sugiere una década perdida en términos de las tres capacidades que promueve el desarrollo humano: tener una vida larga y saludable, poseer conocimientos y poder acceder a los recursos necesarios para lograr un nivel de vida decente”⁸.

Asimismo, se observa una dependencia de la calidad de vida con respecto a la cercanía que se tenga con centros poblados, o en otras palabras, con las ciudades capitales Manizales,

⁸ PNUD Colombia. Eje Cafetero. Un pacto por la región. Informe Regional de Desarrollo Humano, 2004. p. 51.

Pereira y Armenia. Esto ha conseguido que los municipios más alejados y con mayor porcentaje de población rural posean mayores niveles de carencias en la prestación de los servicios sociales básicos, es decir, que en el eje cafetero, la ruralidad⁹ ha presentado una relación inversamente proporcional al bien estar humano. Es así como al respecto de los niveles de escolaridad, se comenta que la ruralidad incide en los procesos y logros educativos desfavorablemente, mientras que en temas de seguridad social “en salud y desnutrición, los resultados revelan que la población más desprotegida es precisamente la más necesitada: la de las zonas rurales”¹⁰. Para una mayor ilustración, la tabla 1 a continuación expone la participación que poseen algunas de las principales razones de la pobreza para la región, en los años 2001 y 2003.

Razones	2001	2003	2001	2003
	Urbana	Urbana	Rural	Rural
Ingresos	37	39,5	51	52,5
Alimentación	25,7	24	45,2	44,3
Trabajo	37,3	39,5	36,6	32,3
Falta de apoyo institucional	6,7	8,3	18,5	17,1
Servicios públicos	3,9	3,3	14	13,3
Vivienda	10,1	8,8	13,9	13,1
Salud	5,6	6,3	13,1	11,4
Educación	6,8	5,8	8,3	8,2
Discriminación	2,8	2,5	3,8	4,7

Tabla 1. Razones de pobreza por zona 2001 y 2003 (en porcentajes)

Fuente: tomado de PNUD Colombia, 2004. p. 124

La información de la tabla demuestra un mayor porcentaje de incidencia de las razones de la pobreza en las zonas rurales que en las urbanas. Se observa con mayor atención una alta

⁹ Según el Informe Nacional de Desarrollo Humano para el 2011, se creó un Índice de Ruralidad para Colombia, que no se basa en la conglomeración de población rural de una determinada zona para la caracterización, sino en tres componentes: (a) combina la densidad demográfica con la distancia de los centros poblados menores a los mayores; (b) adopta el municipio como unidad de análisis y no el tamaño de las aglomeraciones (cabecera, centro poblado y rural disperso en el mismo municipio); y (c) asume la ruralidad como un continuo (municipios más o menos rurales), antes que como una dicotomía (urbano-rural). PNUD Colombia. Colombia rural. Razones para la esperanza. Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011, 2011. p. 18.

¹⁰ PNUD Colombia. Óp. cit., p. 106.

influencia de la inadecuada alimentación en los bajos niveles de vida de los campesinos, al igual que el nivel de ingresos adquiridos y las posibilidades de empleo. Seguidamente, es notable que la variación en los porcentajes de un año para otro en las zonas rurales varía en menor cuantía en que en las urbanas, sugiriendo que las políticas públicas aplicadas para la mitigación de la pobreza en el campo, surten un efecto más lento que en las zonas con una ruralidad inferior, lo cual puede ser constatado también por una doble percepción de la falta de apoyo institucional más marcada para los primeros que para los segundos.

Finalmente, una tercera causa expone “una baja integración del sector cafetero a las políticas y directrices del sector agropecuario y a los planes de desarrollo de la nación, los departamentos y los municipios. En las zonas rurales se siguen drenando importantes recursos de la FNC para financiar programas y proyectos que son responsabilidad del Estado, sin que se promueva la incorporación de los caficultores a los beneficios de los programas gubernamentales, perdiéndose la visión del negocio cafetero como parte fundamental del desarrollo regional”¹¹.

Ahora bien, en concordancia con una historia poco alentadora para el surgimiento de escenarios adecuados para la evolución de los factores que han condicionado el desarrollo de la caficultura colombiana, esta investigación concentrará esfuerzos en elaborar un pronóstico del nivel de exportaciones del café suave colombiano, mediante la aplicación de Redes Neuronales Artificiales –las cuales ofrecen resultados más precisos a comparación de metodologías como las series de tiempo– que, en conjunto con un análisis a nivel macroeconómico de las variables propuestas para ellos, se abra el espacio para la discusión de algunas visiones sobre el futuro de la actividad, en materia de su importancia en la economía nacional, el destaque del grano colombiano en la esfera mundial, y los aspectos positivos que esto dejaría sobre calidad de vida de las familias campesinas, que se encuentran inmersas en círculos de pobreza resultantes de las más recientes crisis cafeteras.

¹¹ CANO SANZ, Carlos et al, Óp. cit. p. 33.

4. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar el impacto que poseen las variables macroeconómicas y climáticas sobre la exportación del café suave colombiano para la elaboración de un pronóstico de exportaciones, a través de un comparativo en el ajuste de un modelo de Redes Neuronales Artificiales y un modelo de series de tiempo, con el fin de obtener herramientas útiles para el análisis del desarrollo de la caficultura colombiana.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar cualitativa y cuantitativamente el comportamiento histórico de las variables que inciden sobre el nivel de exportaciones de café suave colombiano, a saber, tipo de cambio, precio internacional del café y precipitaciones en las zonas de producción.
- Comparar cuantitativamente el ajuste de predicción entre un modelo *feedforward* de Redes Neuronales Artificiales y un modelo ARDL sobre el nivel de exportaciones de café colombianos durante los doce meses del año 2012.
- Evaluar, de acuerdo al nivel de incidencia de las variables sobre el pronóstico de las exportaciones de café suave colombiano, el escenario en el cual la caficultura colombiana se está desarrollando, con el fin de describir la favorabilidad que posee la actividad a futuro.

5. MARCO TEÓRICO

Para obtener mayor claridad con el tema abordado, se prosigue a establecer un marco teórico que sirva de base científica para la definición, análisis y desarrollo del objetivo que se prevé. Dicho marco hará referencia principalmente al uso de Redes Neuronales Artificiales para la transformación de datos y pronósticos de variables. Las razones van más allá de un método innovador, considerando sus grandes virtudes con respecto al procesamiento de bases de datos de forma no lineal y simultánea –como lo hacen por ejemplo el sistema de redes neuronales biológicas, que procesa informaciones en sincronía para que el sistema nervioso de un ser vivo responda a factores externos–, diferente a métodos como las series de tiempo, que requieren de una transformación y linealización previa de los datos, que puede dejar de lado informaciones importantes por medio de la depuración.

En este sentido, este capítulo teórico se dividirá en dos componentes principales, uno primero que discute algunos conceptos básicos correspondientes al uso de pronósticos y de Redes Neuronales Artificiales, y un segundo componente, se dirige a la discusión de algunos antecedentes sobre los resultados de trabajos que han hecho uso de la metodología de las redes, especialmente orientados a la ejecución de pronósticos.

5.1. MARCO CONCEPTUAL

Al respecto de la importancia que adquiere el análisis de pronósticos de variables. Dieblod¹² comenta que estos ayudan a “guiar las decisiones en una diversidad de campos, [como la] planeación y control de operaciones, mercadotecnia, economía, especulación financiera, administración de riesgos financieros, presupuestos empresariales y gubernamentales”.

Los pronósticos, se convierten en una herramienta que adquiere un alto valor en la toma de decisiones en los sectores públicos y privados. En el público, por ejemplo, son de grande

¹² DIEBLOD, Francis. Elementos de Pronósticos. Universidad Nacional sede Medellín, 1999. p. 1.

utilidad para la planeación de la política pública y monetaria, para prever posibles choques externos o internos que pueden llegar a afectar la dinámica integral de los países. Ya en el sector privado, poseen una considerable importancia en términos de la previsión de futuras inversiones, acceso a mercados emergentes, adquisición de inventarios, solicitud de créditos, etc. Luego, elaborar pronósticos puede ser posible mediante diversas técnicas de estimación, como son las series de tiempo, que se componen de diferentes metodologías como Box and Jenkins, o modelos de corte no lineal, como las RNA. En este sentido, y dado el propósito que a este trabajo le atañe, los conceptos se direccionarán a la descripción de pronósticos por medio del segundo método.

Una visión más panorámica y genérica para el entendimiento de su función, define a las RNA a través de su forma primitiva más simple: una red neuronal biológica. Una primera definición de la funcionalidad de esta última es otorgada por Rosales¹³, cuando comenta que una neurona, la cual pertenece a una red biológica fundamental para el funcionamiento del sistema nervioso en un ser vivo, “es una célula compuesta por cuerpo, un número de extensiones llamadas dendritas, que sirven de entradas, y una larga extensión llamada axón que actúa como salida (...)”. Luego, en la tentativa de realizar una analogía con el funcionamiento de una RNA, el autor comenta la forma en la cual la información es procesada por medio de unas capas en donde cada variable es transformada para ofrecer una respuesta final, o en otras palabras, “las neuronas de una capa reciben entradas desde otra capa y envían sus salidas a neuronas de una tercera. Dependiendo de la aplicación también es posible que las neuronas de una capa reciban entradas y provean salidas a neuronas de la misma capa”¹⁴

Luego, las diferentes informaciones suministradas en la red neuronal van adquiriendo distintas importancias de acuerdo a la influencia que adquieren para la respuesta final. Esto se conoce como pesos sinápticos, los cuales representan el grado de fuerza de la información que una neurona transmite a la transformación de la neurona perceptora y de la nueva

¹³ ROSALES FERNÁNDEZ, J. Redes Neuronales Artificiales. Boletín Electrónica. Universidad San Martín de Porres, 2001.

¹⁴ *Ibíd.*

información, mediante una pequeña pero efectiva cantidad de memoria. En palabras del autor “las conexiones entre neuronas tienen pesos asociados que representan la influencia de una sobre la otra (...). Esencialmente, cada una envía su información de estado multiplicado por el correspondiente peso a todas las neuronas conectadas con ella. Luego cada una, a su vez, suma los valores recibidos desde sus dendritas para actualizar sus estados respectivos”¹⁵

Una forma ilustrativa para entender sistemáticamente una RNA, es expuesta en la figura 1 a continuación:

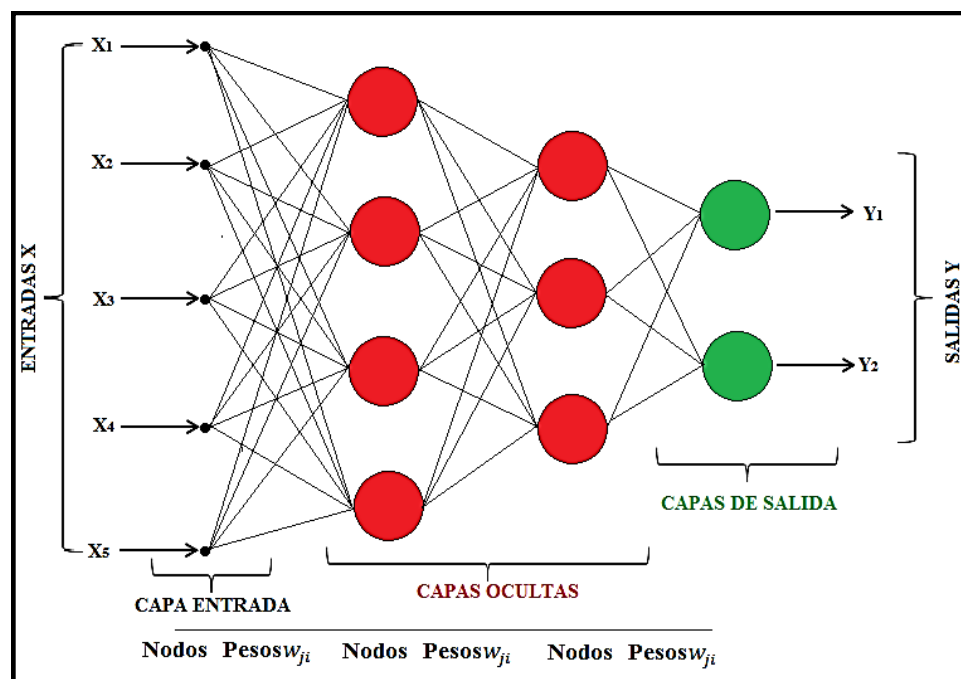


Figura 1 Red Neuronal Artificial

Fuente: adaptación del autor con base en Villada, Muñoz y García, 2012. p. 14

En la figura pues se observa una red conformada por nodos emisores y receptores de información, que es combinada en cada una de las capas, tanto las de entrada (que introduce toda la información primaria a ser procesada por las capas intermedias), las ocultas (o intermedias que se encargan de realizar un mayor procesamiento de la información) y las de salida (que proveen una información preliminar que será posteriormente reprocesada desde

¹⁵ Ibid.

la salida hasta las capas intermedias para realizar ajustes de error). Luego los pesos w_{ji} determinarán la relevancia de la información proveída por las variables, para ser después transmitida a las capas de nodos y finalmente ofrecer un resultado.

Otra forma de explicar el desarrollo de la información de variables en las RNA, puede ser otorgada por Gestal, cuando al referirse a las mismas comenta que “los investigadores están en su inmensa mayoría pensando en la organización cerebral cuando consideran configuraciones y algoritmos de Redes de Neuronas. Se va a considerar una neurona como un elemento formal o módulo o unidad básica de la red que recibe información de otros módulos o del entorno; la integra, la computa y emite una única salida que se va a transmitir idéntica a múltiples neuronas posteriores”¹⁶. Esta dinámica será explicada con mayor detalle en el capítulo metodológico de esta pesquisa.

Por otro lado, Pérez, de Pablo y Levy resaltan la importancia que ha adquirido para estudios científicos la aplicación de redes neuronales desde los años cincuenta, debido a las bondades que poseen la implementación de la programación algorítmica para la resolución de problemas con solución compleja. En este sentido, los autores comentan que “el diseño de una red neuronal es un problema de ajuste de una curva o función (aproximación). Desde este punto de vista, el aprendizaje es equivalente a encontrar una superficie en un espacio multidimensional que dé como resultado el ‘mejor ajuste’ para los datos de entrenamiento, siendo medido de una forma estadística”¹⁷.

Posteriormente, Villada, Muñoz y García rescatan algunas de las características que posibilitan el uso de RNA en los estudios investigativos, especialmente por ofrecer resultados más dinámicos en términos del establecimiento de relaciones no lineales (como lo es el mundo real) y lineales entre la información que ofrecen las variables a tratar, incentivando

¹⁶ GESTAL POSE, Marcos. Introducción a las Redes Neuronales Artificiales. Sabia Universidade da Coruña, 2009.

¹⁷ PÉREZ MESA, Juan Carlos; De PABLO VALENCIANO, Jaime y LEVY MANGUIN, Jean-Pierre. Empleo de redes neuronales de base radial a un modelo econométrico de exportación de tomate. Ciencia ergo sum, 2007. p. 7.

el mejor aprovechamiento de la información suministrada a diferencia de los métodos netamente lineales.

Al respecto de las características los autores exponen que al estar inspiradas en una red neuronal biológica, la RNA posee “varias ventajas tales como su capacidad de aprendizaje adaptativo, son auto-organizativas, pueden funcionar en paralelo en tiempo real y ofrecen tolerancia a fallos por la codificación redundante de la información. Desde el punto de vista de solucionar problemas (...) las redes neuronales actúan como el cerebro humano, procesando la información en paralelo, y también pueden aprender y generalizar a situaciones no incluidas en el proceso de entrenamiento”¹⁸

Igualmente, Villada, Cadavid y Molina corroboran que dado que el comportamiento de las variables es no lineal, como las económicas por ejemplo, el empleo de RNA permite “establecer relaciones lineales y no lineales entre las entradas y salidas de un sistema, [lo cual] ha hecho posible mostrar su aplicabilidad en mercados de alta volatilidad, cuyas variables obedecen a comportamientos no lineales en diversas áreas de la ingeniería, el mercado de valores y mercado de divisas”¹⁹

No obstante, el procesamiento de las RNA no permite observar comportamientos específicos y previos en las variables, como lo es posible mediante el uso de métodos lineales. Así “las redes neuronales pueden procesar información de forma más rápida que los computadores convencionales, pero tienen la desventaja de que no podemos seguir su respuesta paso a paso como se puede hacer al ejecutar un programa convencional en un ordenador por lo que no resulta fácil detectar los errores”²⁰. Aun así, podrá verse en el capítulo metodológico que cuando se hace uso de las RNA, la información es mejor ajustada por el Error Cuadrático Medio que consigue mayores aproximaciones entre la información esperada y la observada.

¹⁸ VILLADA, Fernando; MUÑOZ, Nicolás y GARCÍA, Edwin. Aplicación de las Redes Neuronales al Pronóstico de Precios en el Mercado de Valores. Información Tecnológica, 2012. p. 14.

¹⁹ VILLADA, Fernando; CADAVID, Diego Raúl y MOLINA Juan David. Pronostico del precio de la energía eléctrica usando redes neuronales artificiales. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2008. p. 112.

²⁰ VILLADA, Fernando; MUÑOZ, Nicolás y GARCÍA, Edwin, Óp. Cit. p. 14.

Ahora bien, resulta interesante observar diferentes puntos de vista concebidos a la luz de la aplicación de RNA en estudios que hicieron uso de este método para ejecutar pronósticos de diferentes variables, especialmente económicas, como lo es el caso de esta investigación. Por tanto, a continuación se presenta una breve lectura de algunos antecedentes del desarrollo de este tema.

5.2. ANTECEDENTES

Como se ha enfatizado, las RNA son de uso común en el campo de los pronósticos (precios de acciones, precios de la energía, inventarios, volumen de exportaciones etc...). Uno de estos estudios es el realizado por Villada, Cadavid y Molina²¹, cuando ejecutan “Pronóstico del precio de la energía eléctrica usando redes neuronales artificiales” y pretenden analizar el comportamiento del precio de la energía eléctrica en un periodo de tiempo, superior a los periodos que se han referenciado en otros trabajos para la elaboración de dicho pronóstico.

El trabajo de estos autores propone un modelo basado en RNA y se evalúa su desempeño en el pronóstico de un mes para el mercado eléctrico colombiano. Se utilizan dos estructuras de redes, en donde precio diario de la energía es la primera de las entradas, y la segunda es la serie de precios más el nivel medio de embalses. Los autores hacen además una comparación de los resultados obtenidos por medio de este método con aquellos resultantes de un modelo Autorregresivo Condicional Heterocedástico Generalizado (GARCH). El trabajo concluye demostrando que dicho modelo obtuvo ventajas considerables dentro del grupo de muestra, mientras que con la aplicación de RNA los resultados fueron mejores en los periodos fuera de la muestra, es decir, en los pronósticos.

En el estudio “Aplicación de las Redes Neuronales al Pronóstico de precios en el Mercado de Valores”, las redes son propuestas para elaborar un pronóstico del precio de dos de las acciones más importantes del mercado de valores colombiano, a saber, las acciones de Ecopetrol y Preferencial Bancolombia teniendo en cuenta que ambas negociadas simultáneamente en las bolsas de valores de Colombia y Nueva York. Las entradas de la red

²¹ VILLADA, Fernando; CADAVID Diego Raúl y MOLINA, Juan David, Óp. cit. p. 113.

artificial fueron las series de precios y el índice del dólar estadounidense durante seis meses. En este caso, Villada, Muñoz y García resaltan bajos errores del desempeño dado por las redes tanto dentro como fuera de la muestra, al igual que un comportamiento satisfactorio para la elaboración de dicho pronóstico²².

Por otro lado, Velásquez y Aldama, en su investigación “Modelado del precio del café colombiano en la bolsa de Nueva York usando Redes Neuronales Artificiales” ejecutan una comparación de varios modelos alternativos que tengan las bondades de adecuarse con mayor facilidad al procesamiento dinámico de los precios históricos del café colombiano. Los autores trabajaron con cuatro tipo de modelaciones, a saber, un modelo lineal con errores homocedásticos, un modelo lineal en donde los residuales siguen un proceso ARCH (Autoregressive Conditional Heterocedasticity), una red neuronal y una red neuronal con errores heterocedásticos. Los autores hacen una combinación entre un modelo autorregresivo (AR) definido al interior de un perceptrón multicapa (MLP), en donde sus residuales siguen un proceso ARCH, dando como resultado un modelo AR-MLP-ARCH.

Este modelo posee grandes virtudes en términos de procesar la información no lineal del modelo que, al intentar linealizarlo por medio de las pruebas Kennan, RESET, Tsay y White, encontraron un rechazo simultáneo en dos de estas pruebas con respecto a la hipótesis de linealidad. Con ello, el uso del AR-MLP-ARCH presenta comportamientos no lineales tanto en la media como en la varianza de las series. Los autores concluyen, mediante esta combinación que hace uso de redes neuronales, que este modelo sería más adecuado para representar la dinámica de la serie de precios, además de demostrar metodológicamente “cómo diferentes criterios de comparación pueden ser utilizados para la comparación puede ser utilizados para la comparación de modelos, [no obstante], los resultados no han sido totalmente satisfactorios desde el punto de vista de los resultados de modelación”²³.

²² VILLADA, Fernando; MUÑOZ, Nicolás y GARCÍA, Edwin, Óp. cit. p.13.

²³ VELÁSQUEZ HENAO, Juan David y ALDANA DUMAR, Mario Alberto. Modelado del precio del café colombiano en la bolsa de Nueva York usando Redes Neuronales Artificiales. Revista Facultad Nacional de Agronomía 2011, pág. 4143.

Finalmente, Atsalakis y Valanavis en su trabajo “Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods” hacen una revisión de 100 trabajos científicos publicados que han sido enfocados al uso de técnicas neuronales y neuro-difusas, derivadas y aplicadas en pronósticos de los mercados de valores. Ellos denominan este tipo de métodos como métodos suaves computacionales, y concluyen que estos son ampliamente aceptados y aplicados al momento de estudiar y evaluar el comportamiento de este tipo de mercados. Además, resaltan la facilidad que adquiere aplicar estas técnicas a la hora de hacer pronósticos si no se poseen los suficientes conocimientos de las distribuciones estadísticas de las variables de entrada, al igual que la viabilidad en el momento de crear relaciones no lineales entre las mismas, ofreciendo resultados satisfactorios.²⁴

²⁴ ATSALAKIS, George S. y VALANAVIS, Kimon P. Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods. Expert Systems with Applications, 2009. p. 5932

6. METODOLOGÍA

La presente investigación, pretende comparar dos técnicas de modelado de variables con el fin de concluir acerca de la influencia de las variables seleccionadas sobre la dinámica de la variable a estimar. Previo a la presentación de los modelos particulares se busca hacer un análisis de cada una de las variables y una descripción que permita determinar y solidificar los conceptos alrededor de la dependencia de la variable a estimar y procura determinar qué tipo de influencia ejerce. Luego se presenta un modelo muy frecuentemente utilizado desde la Economía y en análisis de sus resultados para establecer sus fortalezas y debilidades en la solución del problema planteado.

6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES (ENTRADAS Y SALIDA)

De acuerdo a la estructura de las redes neuronales, se requiere de la especificación de variables de entrada y salida. En este trabajo, las variables de entrada que se procesarán al interior de la red para ofrecer informaciones al respecto del pronóstico son el tipo de cambio, precio internacional y las precipitaciones en las zonas cafeteras, mientras que el pronóstico será realizado para las exportaciones de café suave colombiano durante el periodo 2012-1 a 2012-12.

6.1.1. Volumen de exportaciones (miles de sacos de café de 60kg). La ilustración al respecto de esta primera variable, que depende del comportamiento de otras para su desenvolvimiento, ofrecerá un marco general sobre cómo ha sido su participación a nivel histórico en la economía nacional y en los mercados de café internacionales. Así mismo, otorga algunas visiones sobre las dificultades que han obstaculizado su desarrollo, especialmente posterior al pacto de cuotas. De esta manera, un marco general de la variable estimula simultáneamente sobre el comportamiento de las variables que la determinan. Con eso, posterior a esta ilustración, se pasará a describir las relaciones que esta puede poseer con cada una de ellas.

La historia del café colombiano se ha convertido en una insignia, tanto en la esfera nacional como en la internacional; de hecho, esta actividad ha tenido tal fuerza y arraigo como para haber liderado la economía nacional antes de que el auge de la minería lo hiciera como pasa actualmente, y a que para su establecimiento, como menciona Machado “no sólo haya sido el capital acumulado en el oro, el tabaco, la quina y el añil lo que se haya convertido en café, sino que también hizo que los hacendados se endeudaran con casas comisionistas y bancos de exterior e hipotecaran sus propiedades, asunto que los obligó a vender café en las casas comerciales y comisionistas extranjeros y provocó que el grano se integrara rápido al comercio exterior”²⁵

No obstante, la gloria y ganancias obtenidas durante varias décadas antes de la década del noventa no lograron sostenerse en el tiempo. Asuntos como el envejecimiento y tratamiento inadecuado de los cafetos ante los constantes y bruscos cambios climáticos, la baja productividad, el alto costo de los insumos, la inexperiencia técnica y el bajo alcance tecnológico por parte de los pequeños y medianos caficultores, una política agraria y cambiaria poco favorable para el gremio durante el rompimiento de pacto de cuotas y la liberalización de la economía, y la variabilidad y bajo nivel de los precios internacionales del

²⁵ MACHADO C., Absalón. Desarrollo económico y social en Colombia. Siglo XX. En: El café en Colombia a principios del siglo XX, 2001, p. 83.

grano, entre otros asuntos, han logrado desestabilizar la producción y consecuentemente la exportación a través de la historia de la economía nacional.

El gráfico 1, ofrece una primera visión sobre el comportamiento histórico de las exportaciones. Resulta interesante observar el impacto que sobre ellas pudo haber tenido el rompimiento del pacto de cuotas de 1989. Por eso, podrá notarse que la gráfica fue elaborada con una serie de datos mensual que va desde 1959 hasta el 2012, como se muestra a seguir: a partir de las bases de datos correspondientes al volumen de exportaciones que ha presentado Colombia mes a mes durante el periodo 1959-2012.

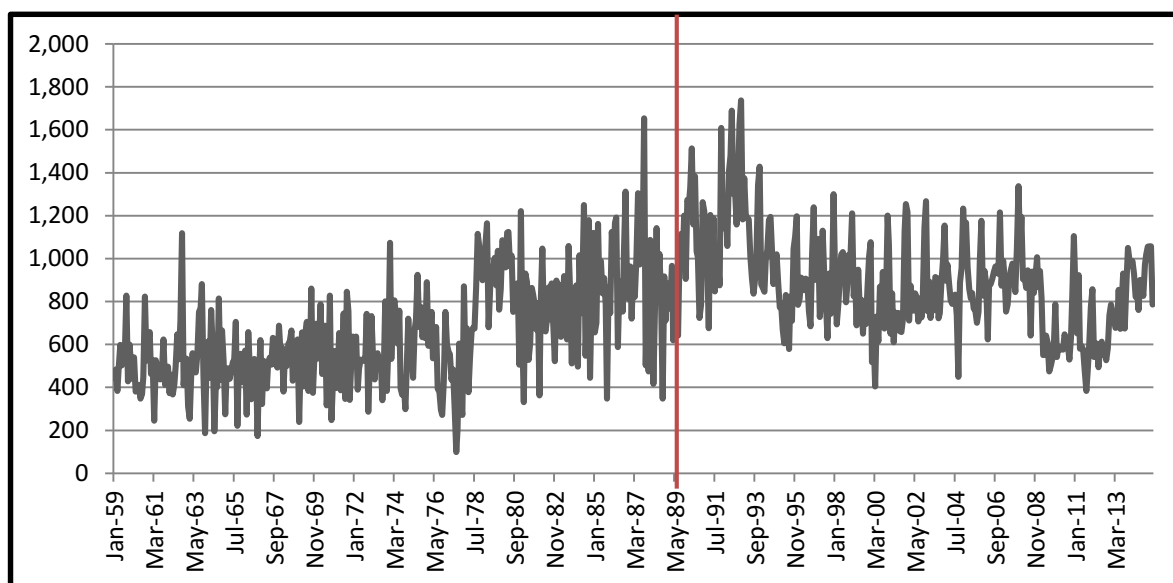


Gráfico 1 Nivel mensual de exportaciones de café colombiano. 1959-2012

Fuente: elaboración del autor, con base en información del sitio Web oficial de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2014.

El lector podrá observar que una línea que señala la época en la cual fue sucedido el rompimiento del pacto. Así, podrá observarse que antes del pacto, aun cuando el nivel no era mayor, se presenciaba un crecimiento sostenido de las exportaciones, y como se verá posteriormente, ese crecimiento estuvo traducido en la adquisición de una importante posición del grano nacional en los mercados internacionales. Adicionalmente, el precio internacional del café favoreció de manera amplia las producciones desde los años cuarenta

hasta los ochenta, pues fue en este periodo que “el precio estuvo siempre por encima de 2 dólares la libra, llegando a tener picos de 5 y 7 dólares en la década del cincuenta y el setenta respectivamente”²⁶, lo cual contrasta con la época posterior al rompimiento en donde pese a un mayor volumen de exportaciones –aunque con tasas de crecimiento más bajas– durante los noventa, “la misma libra no superaba 1 dólar, con excepción de 1997 en donde se obtuvieron mini bonanzas del mercado internacional desde 1994, aunque con un 17% menos de la cosecha obtenida en 1990”²⁷.

Con esa nueva etapa, aun cuando se vivió la bonanza cafetera de la década del noventa acompañada de una baja en los precios internacionales, las exportaciones de café colombiano comenzaron a presentar crecimientos negativos sostenidos, como se presenta en la gráfica anterior, lo cual se desarrolló a la par de considerables reducciones de plantaciones²⁸ que afectaron notablemente los mercados laborales del café y las condiciones de vida de los pequeños caficultores. Como resultado, sobrevino una importante reducción de la participación del producto nacional en el mercado global como lo enseña el gráfico 2.

²⁶ TORO ZULUAGA, Germán. Eje cafetero colombiano: compleja historia de caficultura, violencia y desplazamiento. *Revista de Ciencias Humanas – UTP*, 2005. p. 130

²⁷ JARAMILLO, Carlos Felipe. La Agricultura Colombiana en la década del noventa. *Revista de Economía de la Universidad del Rosario*, 1998. p. 16.

²⁸ *Ibíd.*

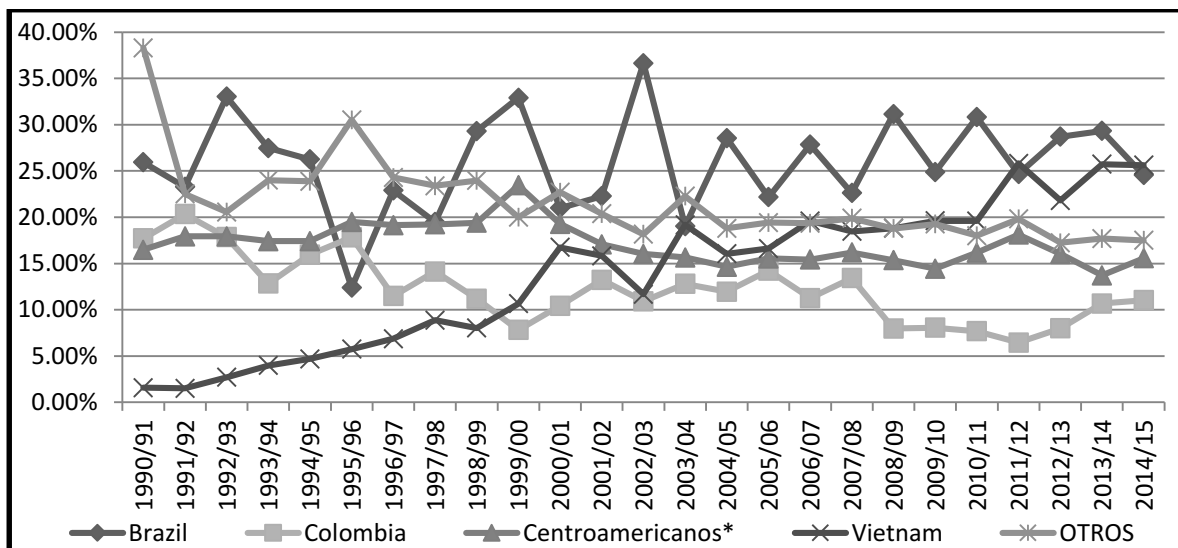


Gráfico 2 Participación en el volumen de exportaciones a nivel mundial (1990-2015)

Fuente: elaboración propia, con base en información del sitio Web oficial de la Organización Mundial del café (ICO), 2015.

Sin importar las proporciones, es evidente el decaimiento de Colombia como el segundo exportador de café suave, que se siguió observando para años posteriores, pasando a un tercer lugar, después de Brasil y Vietnam, con una brecha diferencial pronunciada. En concordancia con ello y según el Informe del Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana para el 2004, “pese a haberse presentado un favorable nivel de cotizaciones del mercado internacional para los suaves colombianos (incremento del 24% con respecto a su año anterior), el volumen de exportación del país sólo alcanzó un poco más de 11%, mientras que toda la oferta mundial no alcanzó a cubrir la demanda. Lo anterior se atribuye a la falta de inversión y cuidado en los cafetales en muchos de los países productores, resultado de la persistencia en el bajo nivel de precios de los años anteriores y la incertidumbre climática que afectó a producción de algunas zonas”²⁹

Posteriormente, en el 2009 la situación tampoco fue del todo alentadora. El informe de la Federación para este año señaló que, según cifras de la Organización Internacional de Café,

²⁹FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2004, 2004. p. 3.

a nivel mundial el volumen de las exportaciones, “estuvo un 3% menos que la cifra registrada el año anterior, y se destaca que la caída es explicada por la disminución de embarques desde Colombia (-29%). [Esto] ocasionó que la participación de las exportaciones colombianas (...) para ese año también disminuyera con relación al mismo período del año anterior (...), aun cuando los precios internacionales registraron una tendencia al alza, que variaron entre 110 USD¢/libra en enero a 150 USD¢/libra en diciembre”³⁰ (El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2009, 2009).

Reflexionando sobre las anteriores colocaciones, no son de extrañar las direcciones que han tomado las exportaciones de café colombiano a lo largo del periodo analizado, en donde son denotados caídas y crecimientos débiles y poco pronunciados, que debido a las causas internas y externas mencionadas, no se ha realizado el correspondiente aprovechamiento del aumento en las cotizaciones y de una demanda mundial activa y en crecimiento.

6.1.2. Tipo de cambio. La importancia de esta variable en el sector cafetero radica en que sus variaciones generan impactos directos negativos o positivos en el ingreso cafetero. Si el impacto se encuentra ligado a la disminución del tipo de cambio, se dejaría de percibir los beneficios de la coyuntura de un buen precio en el mercado internacional por ejemplo, luego de acuerdo a la efectividad de las políticas de ajuste implantadas que no alcancen a mitigar por completo este choque externo, se afectan otras variables de extrema importancia para la microeconomía cafetera como los costos de producción, las economías de alcance, las utilidades netas y otros más variantes en el corto plazo.

De acuerdo con lo anterior, es importante establecer, específicamente, que un gran componente de los costos de producción del grano es la mano de obra, donde ésta es pagada en pesos colombianos y no en dólares americanos. Según Cano et al, “la mano de obra representa cerca del 70% del costo total de producción, los aumentos en los salarios afectan

³⁰ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2009, 2009. p. 9.

significativamente el margen de rentabilidad del negocio que, además es muy sensible a la reducción de precios y a la apreciación del tipo de cambio”³¹.

Para el caso colombiano, el tipo de cambio ha tenido diversas transformaciones en las últimas décadas. Para Alonso y Cabrera existieron tres momentos fundamentales en la evolución de la variable, el primero es conocido como el régimen de tasa fija, que fue aplicado hasta el año 1967. Este régimen implicaba mantener el precio fijo por largos periodos de tiempo, provocando fuertes desequilibrios cambiarios que debían ser corregidos por la acumulación o desacumulación de reservas por parte del Banco de la República. Luego, se comentan las evidentes pérdidas de los exportadores en los periodos en que se entregaba menos pesos por cada dólar en el mercado de divisas, causa que fue generando mayores y más seguidas disminuciones en las ganancias para el sector³²

Seguidamente, los mismos autores señalan que a partir de marzo de 1967 hasta diciembre de 1993, se implementó un régimen cambiario con el nombre de Mínimo de Devaluaciones. Esta metodología fue implementada con el fin de contrarrestar las fuertes devaluaciones e inestabilidades cambiarias producidas por el régimen de tasa fija. Luego, con el sistema de minidevaluaciones para la década de 1980 se produjeron ciclos multi-cambiantes que no dejaron buenos resultados para la economía nacional en general. De esta forma, la política monetaria de la época dirigida por el Banco de la República consiguió incentivar el aumento en las reservas internacionales a causa de una oferta de divisas que pudo mitigar los altos precios del café para los años 1976-1978, obteniendo mayores beneficios del mercado internacional³³

Luego de la apertura de los mercados de la política neo-liberal de la década de los noventa, en adición con el recién rompimiento del pacto de cuotas del mercado cafetero internacional, Colombia adoptó un modelo de tipo cambio de bandas cambiarias que fijaba un techo y un piso para la negociación de la divisa, considerablemente diferente de la actual política

³¹ CANO SANZ, Carlos et al. Óp. cit. p. 30

³² ALONSO C., Julio César y CABRERA, Alejandro. La tasa de cambio nominal en Colombia. Apuntes de Economía, 2004. p. 6-11.

³³ *Ibíd.*, p. 6.

cambiaría. El Banco de la República, ente autónomo por la Constitución Política de Colombia de 1990, para ejercer poder sobre la política monetaria nacional, establecía dichos techos, y se fijó el objetivo de que con el desplazamiento paralelo de las bandas se lograra, cada fin de año, alcanzar la meta de devaluación establecida para que concordara con los niveles esperados de la inflación³⁴.

No obstante, estas medidas fueron altamente criticadas por parte de los exportadores, pues la constante variación del valor de la divisa cometida para lograr la meta de devaluación, afectó de igual manera la variación de precios de venta, la compra de insumos para la producción y los ingresos.

En la actualidad Colombia posee un tipo de cambio flotante, el cual encuentra su equilibrio gracias al mercado sin intervención de las autoridades monetarias. Sin embargo, un ambiente de revaluación del peso frente al dólar, también ha sido uno de los múltiples causantes de la baja competitividad, el alto precio de insumos y los bajos ingresos no sólo de los caficultores colombianos, sino de los agricultores que están inseridos en los movimientos de la balanza comercial del país, sin mencionar que muchas de las exportaciones nacionales se caracterizan por presentar un escaso valor agregado en los mercados internacionales, por tanto, su valor comercial es básico, de un *commoditie*.

En este sentido, Alonso et al afirman, con respecto al ambiente de revaluación del peso colombiano que torna difícil las condiciones financieras del exportador y unido “a la reciente ampliación del déficit en cuenta corriente, han generado gran discusión en torno a la pérdida de competitividad de la economía colombiana en los últimos años y a la sostenibilidad de ese proceso. Por ello también con frecuencia se cuestiona la conveniencia de mantener un régimen de flotación de la tasa de cambio”³⁵

La gráfica 1 a continuación puede proveer un poco más de información al respecto del comportamiento histórico del tipo de cambio posterior al rompimiento de cuotas y a la

³⁴ Ibid., p. 20

³⁵ ALONSO, Gloria et al. Medidas alternativas de tasa de cambio real para Colombia. Borradores de economía, 2008. p. 2.

liberalización del mercado que afectó fuertemente su dinámica. Los datos consultados comprenden el tipo de cambio real mensual desde 1990-12 hasta 2014-12, y servirán de gran utilidad para ofrecer respuestas al pronóstico de exportaciones de café colombiano. Simultáneamente se contrasta esta variable con las exportaciones, para observar la existencia de relaciones inversas o directas:

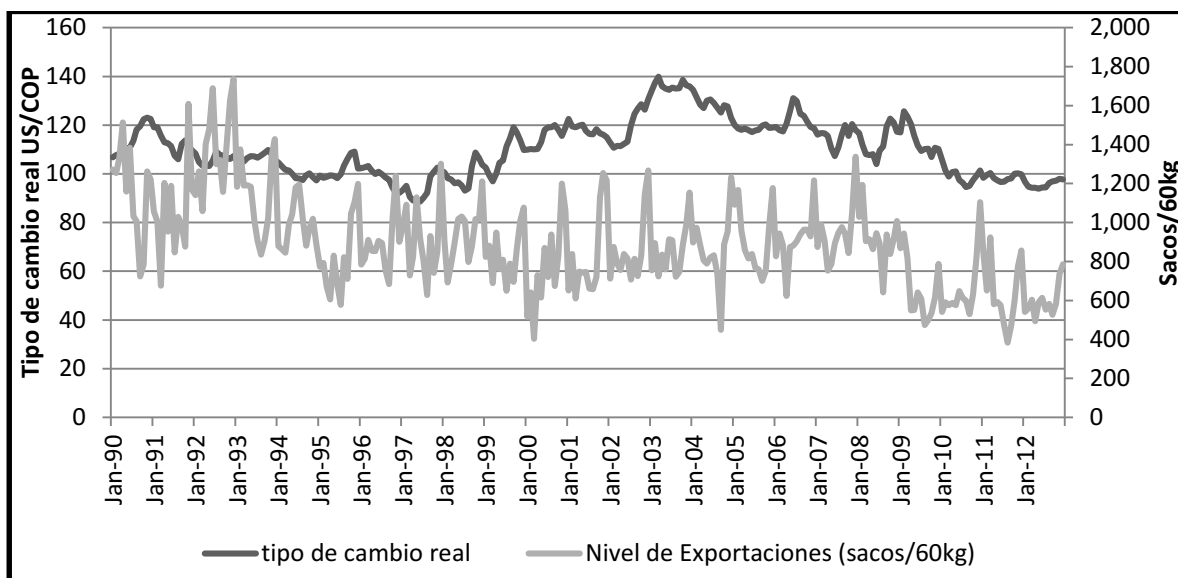


Gráfico 3 Comportamiento mensual de la Tasa de Cambio Real (US/COP) contra el nivel de exportaciones de café suave colombiano. 1990-2012

Fuente: elaboración del autor, con base en información del sitio web oficial del Banco de la República, 2015

El análisis del gráfico va en dos vías, una que explica los posibles acontecimientos que influyeron el comportamiento de la variable, y otra que hace una relación de causalidad con el nivel de exportaciones. En la primera instancia, se reconoce el impacto de la aplicación de la banda cambiaria para el periodo que comprende 1993 y 1998, en donde para Alonso y Cabrera, los logros más significativos de este régimen fue “evitar una macro devaluación por la salida de capitales durante la crisis del gobierno Samper, no permitir una fuerte revaluación en 1996 debido a la entrada de capitales por las privatizaciones, y evitar una burbuja especulativa durante las elecciones de 1998”³⁶.

³⁶ ALONSO C., Julio César y CABRERA, Alejandro, Óp. Cit. p. 22-23.

Luego se destaca una fuerte apreciación del peso frente al dólar desde 1999 hasta aproximadamente mediados del 2008, lo cual ha provocado una difícil situación para los exportadores, quienes han empezado a recibir menos pesos por cada dólar ganado. Con eso, la meta de economías de alcance o de escala, se ha visto obstaculizada, si a eso le es sumado unos costos de producción que no descienden en una proporción justa a la par de la disminución de las ganancias.

Ahora bien, es notable la existencia de una sincronía entre el nivel de exportaciones y el tipo de cambio real. Especialmente, es evidente cómo una revaluación del peso frente al dólar, a partir del año 2004 ha desincentivado la cantidad de exportaciones, que en combinación con otros factores como los choques climáticos y el nivel tecnificación en la caficultura colombiana, han resultado en una disminución pronunciada de la participación del producto al interior de los mercados mundiales.

De igual manera, a la luz de la política cambiaria que estableció bandas en la negociación de la divisa, y en concordancia con las declaraciones previas de los autores, es indudable que la inconformidad de los productores y exportadores nacionales se vio reflejada en los niveles de exportaciones, que aunque no se considera como una causa única de su comportamiento, se reconoce una histórica discordancia entre la política monetaria y los ingresos de los caficultores.

6.1.3. Precio Internacional del café colombiano. Por otro lado, y a la luz de un modelo neoclásico y neoliberal de mercado, se destaca la importancia del precio internacional como determinante de los equilibrios entre la oferta y la demanda del grado en el mercado mundial. Dicha relación ha sido resultado de un largo proceso productivo y comercial que, según “va desde la plantación hasta el supermercado, en donde se genera una red de actividades involucradas con el cultivo, la cosecha, el acopio, el despulpado, el secado, la venta como materia prima, el tostado, el molido, las mezclas y la venta como producto final, primero a los mayoristas, después a los minoristas y finalmente al gran público consumidor”³⁷.

Así, los precios internacionales no estarían exclusivamente determinados por la interacción de la oferta y la demanda del producto, sino también de “las expectativas del comportamiento a futuro de estas fuerzas del mercado. Prácticamente la oferta total de este producto [el café] determina el comportamiento del precio y su demanda total lo regula, pero ambas fuerzas inciden finalmente en su fijación. Cada una por su parte está a la vez determinada por un conjunto de factores”³⁸

La interacción de estas fuerzas generan impactos o choques, positivos o negativos, dependiendo de las secuelas a nivel social, económico y cultural que deja el nivel de precios. Por ejemplo, durante el siglo XIX, en las zonas cafeteras más tradicionales de la época, como el viejo Caldas, parte del departamento de Antioquia, Cundinamarca y otros, el crecimiento industrial fue atribuido en buena medida gracias a las ganancias obtenidas con las comercialización del grano, posibilitándose la construcción de vías para el ferrocarril, para el paso de automotores y la dinamización de los puertos para la negociación del producto. Posteriormente, se crió una cultura y una identidad alrededor del café que posee vigencia hasta ahora, dado el gran empuje que la producción de café trajo en términos de apertura de nuevas industrias y creación de empleos; situación que fue puesta en vilo en los años posteriores al rompimiento del pacto de cuotas y la subsecuente neoliberalización del mercado a la luz de políticas públicas poco efectivas.

³⁷ SALINAS CALLEJAS, Edmar. El impacto de la onda cíclica de los precios del café en los productores de México. *Análisis Económico*, 2004. p. 271.

³⁸ *Ibíd.*, p. 272.

Entrando en una mayor especificidad de las secuelas del rompimiento del pacto de cuotas, que inicialmente fue firmado en el año de 1957, se enuncia la gran dependencia que la caficultura poseía sobre tan acuerdo. Éste garantizaba un nivel de producción adecuado, permitiendo una oferta controlada por parte de los países productores que suplían la demanda de los grandes consumidores como los Estados Unidos y gran parte de Europa. Con ello se establecieron además niveles de precios moderados para los agricultores. No obstante los países consumidores defendían la idea de que el pacto se convertía en una limitación de acuerdo a las nuevas expectativas del mercado del café, debido a que el nuevo objetivo era la calidad más no la cantidad.

Así pues, el rompimiento del acuerdo en el año de 1989, causó un aumento de la oferta internacional del aromático, lo cual incentivó a su vez un deterioro en el precio internacional. De acuerdo a Barón, “como consecuencia de este fuerte incremento de la oferta de café y el lento crecimiento de la demanda a nivel mundial, el precio internacional del café se empezó a deteriorar desde el rompimiento del pacto de cuotas en 1989. Esta tendencia, sumada a la revaluación del peso colombiano ha hecho que el precio real del café se haya reducido drásticamente”³⁹

Actualmente, el comportamiento del precio del café se sigue presentando cambiante y poco favorable para el conjunto de caficultores y exportadores nacionales. Al respecto, Cano et al exponen que los precios nominales del café⁴⁰ –en especial los suaves Colombianos–, “han registrado un aumento muy notable desde el año 2004, al punto de haber alcanzado, entre marzo y mayo de 2011, el máximo pico logrado en la segunda mitad de la década del setenta. Sin embargo, en términos reales, los precios actuales están lejos del pico histórico y tan sólo se sitúan cerca de su promedio”⁴¹.

³⁹ BARÓN, Juan D. Geografía económica de los Andes Occidentales de Colombia. Documentos de trabajo sobre Economía Regional. Banco de la República de Colombia, 2010. p. 34.

⁴⁰ La Organización Mundial del Café (OIC) construye un índice del precio internacional compuesto, que pondera los precios a los cuales se transan los granos arábigos suaves y robustas.

⁴¹ CANO SANZ, Carlos et al. Óp. Cit., p. 5.

Con la intención de ilustrar las afirmaciones previas, se presenta a continuación el gráfico 3 que realiza una comparación entre de los precios internacionales representativos del suave colombiano nominales y reales. La intención se dirige en explicar que aunque se perciben aumentos en los precios, efectos de la inflación, del tipo de cambio y otras variables, hacen que realmente esos precios tengan otra interpretación, especialmente en términos de costos y beneficios para los exportadores.

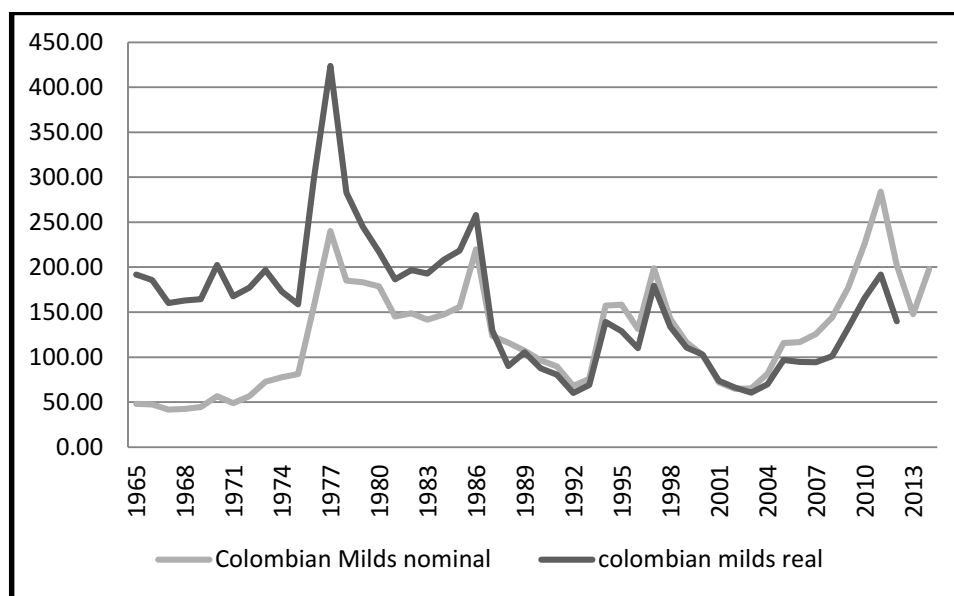


Gráfico 4 Comportamiento del Precio internacional del café nominal vs. Real. 1990- 2011

Fuente: Cálculos propios del autor, con base en información del sitio web de la Organización Mundial del Café, 2015

Es notable a primera vista una diferencia. Especialmente, luego del rompimiento del pacto y con un escenario en donde la oferta fue desproporcionalmente mayor en el mercado mundial, se observa cómo nominalmente el precio fue diferente en términos reales, pues el tipo de cambio desfavoreció a su vez la producción del aromático.

Por otro lado, según Puyana y Oxon, se observa que durante los años 1975 y 1979 “las heladas en Brasil (...) generaron escases en los mercados internacionales y un acelerado incremento en su precio. Los ingresos por exportación del aromático llegaron a 1979 a ser 3.5 veces superiores a su valor en 1974 y la participación del café en el volumen total de exportaciones de Colombia subió al 68%. De igual manera, la reducción en la tasa de

devaluación nominal y la inflación doméstica por encima de la tasa de inflación internacional, determinó una apreciación significativa en la tasa de cambio real”⁴².

Seguido a ello, se observa el aumento de los precios nominales para el periodo del 2004 en adelante y un relevante y bajo nivel con respecto a los reales, en donde curiosamente el pico mostrado para el año 2011 en términos nominales sólo puede ser comparado con aquel de la década del setenta en términos reales. Este repunte nominal puede ser explicado a raíz de que “el consumo mundial ha venido aumentando, la producción se ha mantenido estable y los inventarios [internacionales] han disminuido drásticamente”⁴³, pero que debido a las condiciones internas al respecto de la inflación principalmente, poco o nada ha sido el aporte de este tan positivo escenario.

Por otro lado, y prosiguiendo con el análisis comparativo, se procede en el gráfico 5 a seguir, establecer relaciones de esta variable con respecto a las exportaciones de café suave colombiano.

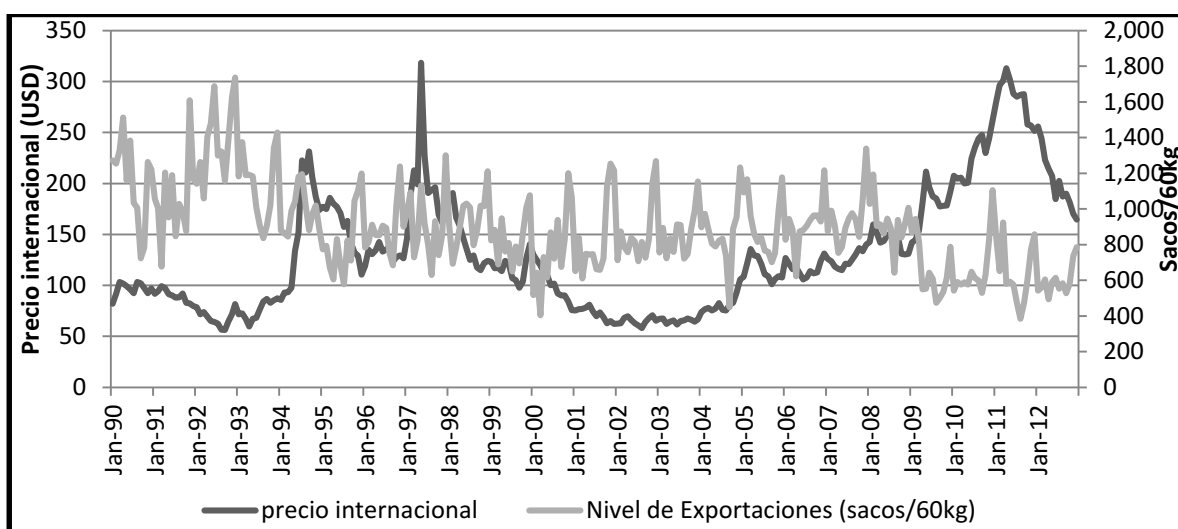


Gráfico 5 Precio internacional del café mensual contra su nivel de exportaciones. 1990-2012

Fuente: elaboración propia con base en información del sitio web de la Organización Mundial del Café y la Federación Nacional de Cafeteros, 2015.

⁴² PUYANA, Alicia y OXON, Phil. La enfermedad holandesa y las bonanzas petroleras y cafeteras en Colombia. Ensayos sobre economía cafetera, 1993. No. 10, p. 57.

⁴³ CANO SANZ, Carlos. Óp. Cit., p. 5.

El orden de la gráfica es curioso pero predictivo. En una primera instancia se observa que con altos precios internacionales, la oferta de café suave colombiano disminuye, denotando un menor aprovechamiento de los escenarios que ofrece el mercado mundial para la reproducción del inventario nacional. No obstante, se resalta que precios elevados del grano, como los del 2011 o 1997 tampoco son tan favorables para la producción frente al temor de los exportadores por perder mercados con consumidores que no pagarían tales precios por el producto. Es por este tipo de especulaciones –entre otras como las desarrolladas alrededor del precio en la bolsa de Nueva York–, que los exportadores limitan su actividad para no caer en escenarios de riesgo, pues ya por sí mismo el precio del café han sido catalogado por los gremios como insostenible, especialmente en lo que se refiere al costo de la producción.

Adicionalmente, nótese en el gráfico 6 a continuación el impacto que ha también adquirido la revaluación del peso frente al dólar sobre los beneficios económicos, que podrían bien ser mayores vía aumentos en el precio, para los últimos años de las exportaciones.

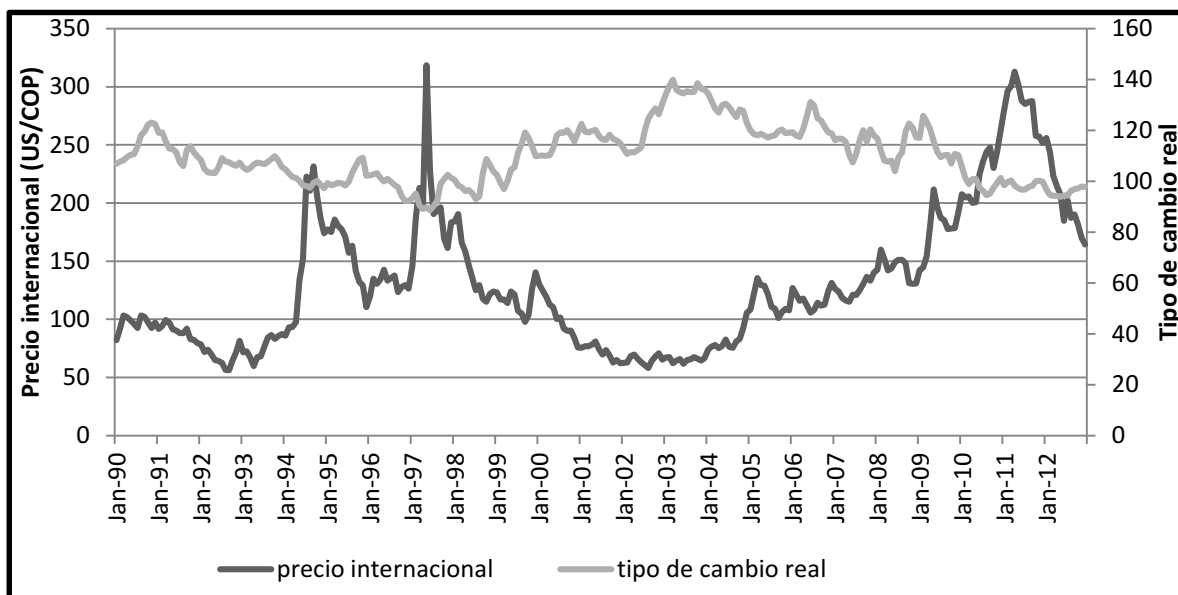


Gráfico 6 Precio internacional del café y Tipo de Cambio real (USD/COP). 1990-2012

Fuente: elaboración propia con base en información del sitio web de la Organización Mundial del Café y del sitio web oficial del Banco de la República, 2015.

La relación que han sostenido las variables durante este periodo se muestra inversamente proporcional. Una fuerte debilidad y volatilidad del peso colombiano se ha podido ver reflejada en la transacción de los *commodities* nacionales, como el café. Con un dólar caro, por ejemplo, se especulan mayores ingresos por parte de los exportadores, razón que conlleva a una mayor producción de inventarios y mayores ventas, que se traducen en aumentos de la oferta por productores y/o compradores internacionales, y produciendo finalmente disminuciones en los precios. Luego, frente a una devaluación del dólar, se dibuja un ambiente desfavorable para las ganancias, los inventarios internacionales disminuyen con aumentos en los precios, resultado de una relativa escasez.

En resumen, la producción y exportación colombiana no ha venido siendo lo suficientemente competitiva como para hacer frente a un escenario de altos precios internacionales resultantes de una sobre demanda de grano, que ha venido en aumento gracias a un aumento en el ingreso de los hogares de economías emergentes. Con esto, la caficultura colombiana ha venido acomodando su producción a las coyunturas de sobre oferta, que con bajos precios, ha afectado considerablemente los ingresos reales de los productores, entre otros asuntos.

En este sentido, vale resaltar lo que según Cano et al ha dicho al respecto del consumo mundial de café y la reacción de los productores colombianos, así “en cuanto al consumo mundial, que ha venido en ascenso, Colombia aporta mucho menos de lo que podría”⁴⁴. En simultánea, una significativa demanda de café ha provocado mudanzas en su estructura en los últimos años, pues “la consolidación de mercados ‘elite’ de cafés de alta calidad, especiales y orgánicos, [han exigido] productos diferenciados. El café, entre otros productos, se está saliendo del supermercado, y también del hogar, en la medida en que la mujer moderna gasta ahora más tiempo en su trabajo (...), los llamados alimentos de conveniencia crecen por encima de los convencionales, y las preferencias de los jóvenes se trasladan a las calles y a sitios más cercanos a sus lugares de estudio o trabajo”⁴⁵

⁴⁴ CANO SANZ, Carlos. Óp. Cit., p. 9.

⁴⁵ Ibíd., p. 39-40.

6.1.4. Precipitaciones en las Zonas cafeteras. La preocupación sobre los efectos del cambio climático en la agricultura ha sido altamente discutida al respecto de temas como la seguridad alimentaria, la demanda y la oferta –transacciones en el mercado de *commodities*, principalmente–, la volatilidad en los precios internacionales de los bienes primarios y en general, en el nivel de calidad de vida. En la producción del café este tema ha adquirido alta importancia, especialmente sobre el nivel de precipitaciones, pues dependiendo de los niveles de lluvias, pueden generarse ambientes de riesgo comprometen la floración del cultivo, etapa en la que el fruto se encuentra en parte crucial de su desarrollo. Una explicación de esta situación es dada por Peña et al⁴⁶ cuando describen que:

Las deficiencias hídricas severas a nivel del suelo, así como los excesos, pueden afectar el crecimiento y desarrollo vegetativo y productivo de la planta. La sobresaturación del suelo, asociada en gran medida, a altas precipitaciones o un gran número de días con lluvia, limita el desarrollo del sistema radical, dando como resultado una planta con síntomas de deficiencias nutricionales, alta incidencia de mancha de hierro en las hojas y frutos, desarrollo deficiente de brotes, defoliación, paloteo, baja producción, baja calidad de los frutos y, bajo condiciones extremas, hasta la muerte de la planta. De otro lado, el déficit de agua en el suelo, asociado a bajos niveles de precipitación y pocos días con lluvia, puede causar daños en la cosecha de café, especialmente si ésta coincide con la época de floración o de llenado de fruto. Los daños más comunes son los granos flotantes o pasillas, los granos parcialmente formados, el grano negro y los granos pequeños.

En este sentido, la estabilidad climática es un factor fundamental para la caficultura, pues con el exceso o déficit de lluvias los impactos se dirigen a la creación de grandes dificultades en la productividad, en los costos de insumos para controlar plagas y otras enfermedades, además de esfuerzos técnicos adicionales que no son bien conocidos por una gran parte de pequeños caficultores. Así las cosas, se reconocen los pisos térmicos templados colombianos como zonas geoestratégicas en las que se puede encontrar una mayor estabilidad climática a comparación del resto del país, complementándose a su vez de ecosistemas biodiversos que incentivan el buen desarrollo de la producción del grano.

No obstante, fenómenos climáticos como El Niño, caracterizado por la disminución considerable en el margen promedio de lluvias, y La Niña, que por el contrario amenaza con

⁴⁶ PEÑA Q., Andrés J. et al. La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. Avances Técnicos Cenicafe, 2012. p. 2.

niveles de precipitaciones mucho mayores que los convencionales, han puesto en vilo la eficiencia en la productividad de café. Sus efectos son observables cuando los excesos o déficits se presentan como anomalías considerables, que pueden causar daños importantes en el desarrollo de la agricultura. En este mismo diálogo, aun cuando Colombia posee un buen sistema de información meteorológico y agrometeorológico predictivo, elaborado por parte de institutos como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, el acceso de la misma para pequeños agricultores es limitado⁴⁷, generando en simultánea considerables asimetrías al interior de las redes de información, los gremios, las asociaciones y los mercados, dificultando así la toma de decisiones frente a las situaciones de riesgo climático en los cultivos.

Reflexionando sobre estas colocaciones, junto con la agudización de los efectos del cambio climático en la agricultura, el desarrollo de la caficultura ha requerido de un uso intensivo de insumos agrotóxicos y pesticidas, que por un lado aumenta los costos del productor, y por el otro disminuye la cantidad y calidad del grano. En este orden de ideas, el caficultor posee pocas herramientas para la mitigación de los fenómenos ambientales, que también ha obstaculizado el desarrollo de economías de escala y alcance, lo que en últimas se ha reflejado en un bajo crecimiento de la producción a nivel nacional, como se ha venido observando, y consecuentemente de las exportaciones.

Para una mayor ilustración de la situación, los gráficos 7, 8 y 9 exponen relaciones de los fenómenos climáticos con los niveles de producción y exportación del grano colombiano. La información del nivel de precipitaciones ha sido recolectada con base en los anuarios climatológicos de Cenicafe para el periodo mensual desde 1990 hasta 2012, correspondiente a 56 estaciones ubicadas en los 13 departamentos donde se ejecuta la actividad cafetera, a saber, Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, César, Cundinamarca, Huila, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca; pretendiendo abarcar un aproximado geográfico de la producción a nivel nacional.

⁴⁷ FERNÁNDEZ, María Esperanza. Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Evaluación del riesgo agroclimático por sectores. Sitio web oficial IDEAM - Cambio Climático, 2013.

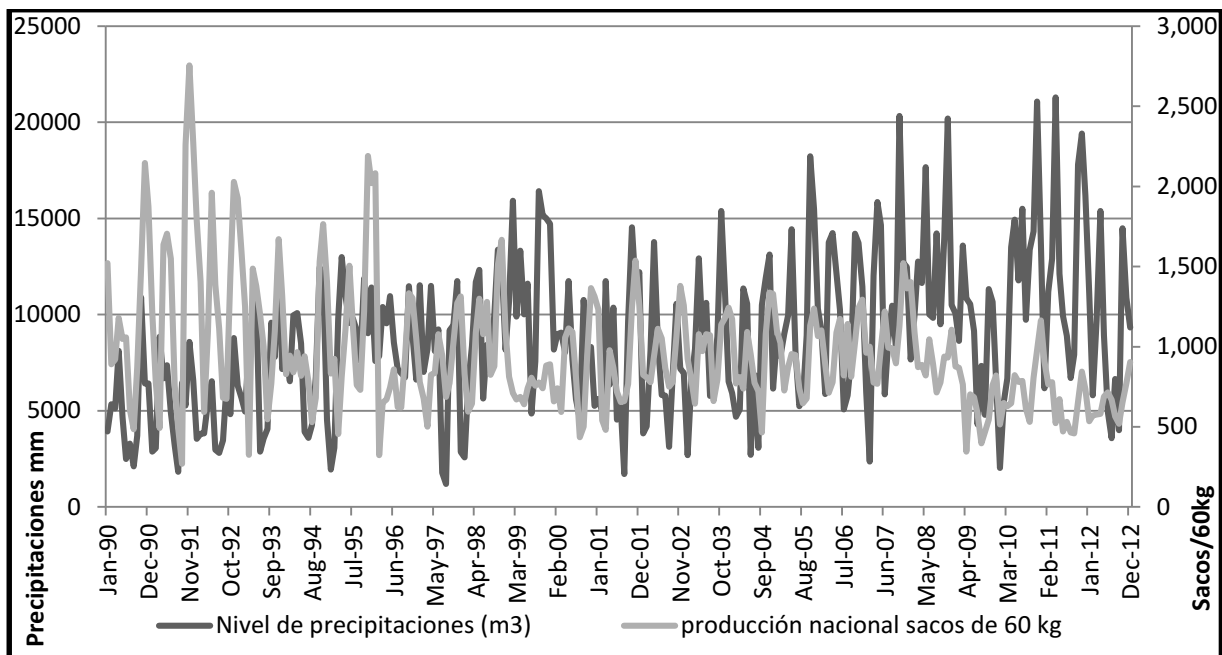


Gráfico 7 Precipitaciones mensuales y producción de café a nivel nacional. 1990-2012

Fuente: Elaboración del autor, con base en información de los anuarios climatológicos de Cenicafé 1990-2012, 2015

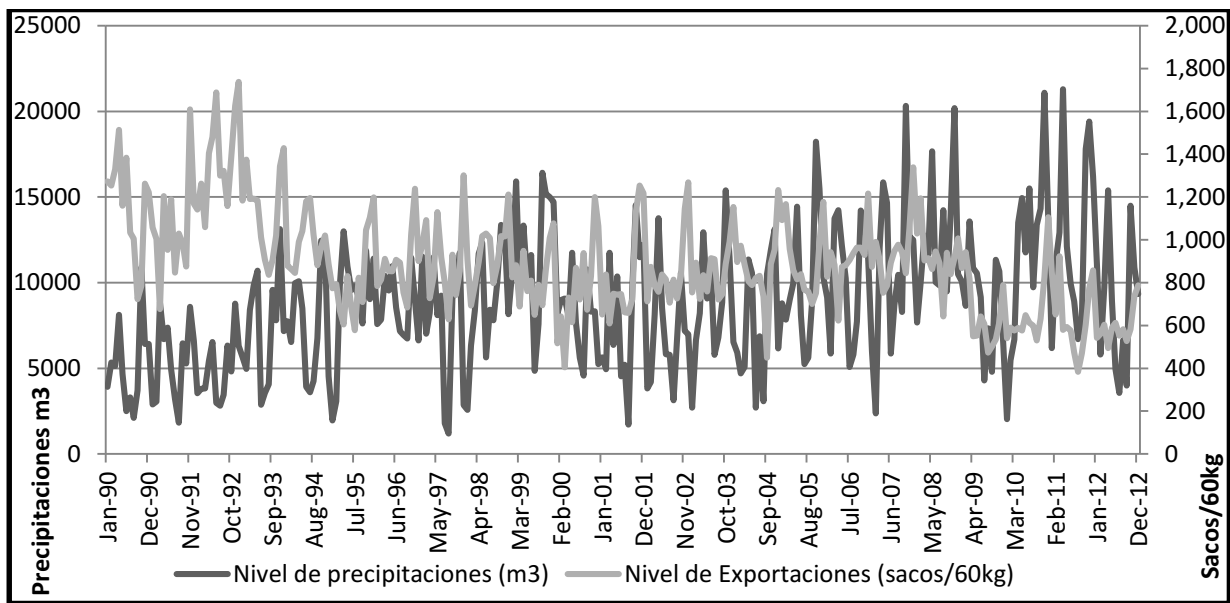


Gráfico 8 Precipitaciones mensuales y nivel de exportaciones colombianas de café. 1990-2012

Fuente: Elaboración del autor, con base en información de los anuarios climatológicos de Cenicafé 1990-2012, 2015

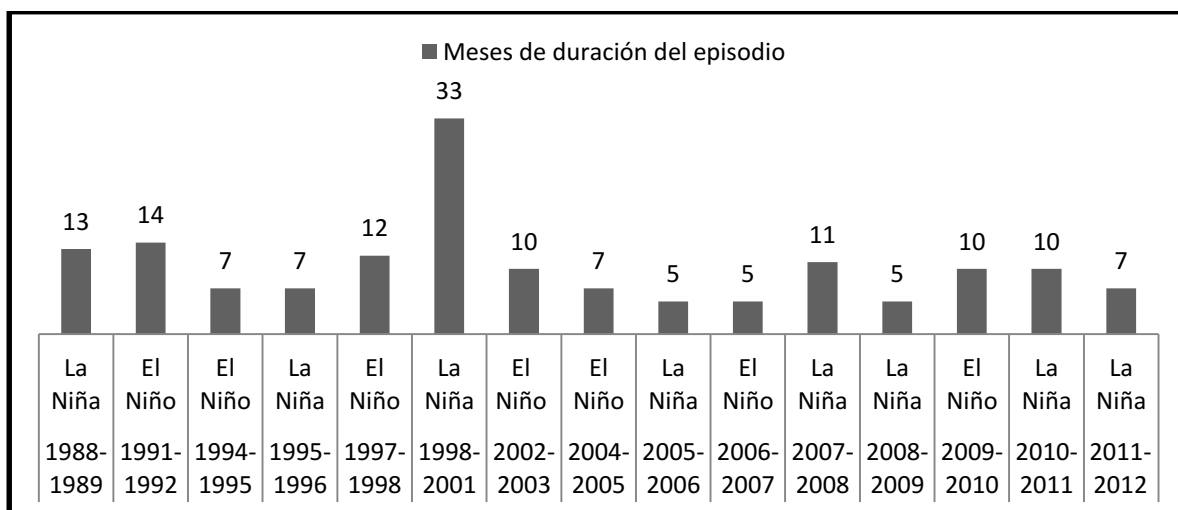


Gráfico 9 Recurrencia en la aparición de fenómenos meteorológicos (El Niño y La Niña). 1988-2012

Fuente: Tomado de Banco de la República, 2014. p. 3.

Con base en el gráfico 7, se observa una relación proporcional entre las variables, es decir, con lluvias, aumenta la producción; no obstante, el nivel de esas lluvias incide en el nivel de producción del grano. Cuando los picos de las precipitaciones son mayores, los de la producción son menores, y viceversa. Esto se debe a que los excesos o déficits de precipitaciones, poseen un efecto inmediato, por lo general negativo, sobre la caficultura. Para la primera década de los noventa, puede notarse cómo el nivel de precipitaciones fue adecuado para un aumento en la producción, que concuerda tanto con una amplia brecha en la relación que sostiene con el nivel de exportaciones del mismo periodo, como con una baja permanencia de los fenómenos de El Niño y La Niña, según el gráfico 9.

Posteriormente, la extensa trayectoria de 33 meses del fenómeno de La Niña durante el periodo 1998-2001, hace que el elevado nivel de lluvias impacte desfavorablemente la buena temporada de producción, que aunque no se encuentra en sus niveles mínimos, tampoco favoreció el aumento sostenido de las exportaciones, como se venía haciendo en años anteriores.

A partir de dicho periodo, no son considerables los aumentos en la producción y consecuentemente en las exportaciones, haciendo que a partir del 2005, estas variables

lleguen a sus niveles más bajos registrados con una repetida aparición del fenómeno de la Niña (33 meses hasta el año 2012) y pocas de El Niño (10 meses entre el 2009 y el 2010). Con respecto a esto, Fernández⁴⁸ expone que:

La caída en la producción cafetera se dio a partir del segundo trimestre del 2011 como consecuencia del fenómeno de El Niño, la baja fertilización por encarecimiento de los abonos, y de renovación de cafetales que suman 300.000 hectáreas en los último 3 años, que no están en la etapa productiva [...]. Los efectos del invierno en términos de daños a la infraestructura de producción, deslizamientos en zonas de ladera, exceso de humedad que retarda la floración de los cafetales, y dispersión de plagas y enfermedades como la roya, hicieron que la producción de 2011 cerrara en 7,8 millones, 18% proyectado al principio del año.

Con referencia a la cita, parece ser además, que el 2011 no fue un año muy favorable para la caficultura colombiana. La radiografía para este año muestra unas condiciones climáticas dañinas, un elevado precio internacional y un bajo costo del dólar. Todo ello, recayó en una posición desfavorable del grano en los mercados internacionales y en las rentas reales de los productores.

Finalmente, se reconoce que para Colombia los fenómenos meteorológicos son un aspecto fundamental y decisivo para el desarrollo de la producción agropecuaria, especialmente porque la mitigación de los mismos se ha convertido en uno de los mayores desafíos de su desarrollo, debido al limitado acceso que poseen pequeños y medianos productores de café a las redes de información agroclimáticas, el bajo nivel de técnicas y tecnologías de los mismos y el consecuente aumento en los precios de los insumos necesarios para combatir plagas y enfermedades provenientes de los efectos negativos de los excesos o déficits de lluvias. Así, el nivel de precipitaciones se convierte en una variable transversal para especular sobre los niveles de producción y exportaciones de café colombiano y de una gran mayoría de *commodities* en general.

6.2. ESTIMACIÓN DEL MODELO

Además de realizar un breve análisis de las variables que afectan que influyen en las exportaciones de café colombiano, determinado por diversos autores, esta investigación

⁴⁸ *Ibíd.*, p. 31-32

también presenta un comparativo entre dos tipos de metodologías muy usadas para ello, a saber, las RNA y un modelo econométrico ARDL, para corroborar las bondades que deja el uso de la primera para la estimación de un pronóstico, como se ha ya descrito en el capítulo del marco teórico.

En diversos estudios enfocados a los pronósticos por medio de las RNA, se observa mayor precisión en los resultados de estos. Para mayor concretización, se resalta la opinión de señalada por Ruelas y Laguna⁴⁹, quienes apuntan que:

Los métodos estadísticos clásicos para pronosticar, parten del comportamiento de los datos históricos, en estos modelos se supone que el futuro será igual que el pasado. Pero si alguna variable cambia, se hacen ineficientes para seguir pronosticando, por que parten del supuesto de que la población siempre tendrán una distribución normal. En la Red Neuronal Artificial no se requieren especificar supuestos como la distribución de probabilidad o patrón de comportamiento en la serie de tiempo para la realización de pronósticos de forma eficiente, pues el método involucra el aprendizaje de las relaciones mediante los datos proporcionados para la red neuronal, lo contrario de los métodos convencionales para pronósticos donde se tiene que especificar el patrón de comportamiento de los datos históricos.

Otra diferencia encontrada entre los modelos RNA y los modelos econométricos para la realización de pronósticos, es un supuesto desempeño superior en la medición de los errores de las redes cuando se encuentra fuera de la muestra. Para Collantes, “se hace evidente que los otros métodos como Box y Jenkins son más sensibles a la cantidad de información suministrada, si se toma el 80 % total de los datos para ajuste y se deja sólo el 20% como control de predicción. A pesar de esto las redes neuronales captan mayor robustez en el funcionamiento del proceso”⁵⁰.

Por otro lado, con respecto a la preocupación sobre la medición de los errores en los pronósticos, Santana comenta que ambas metodologías adoptan “las mismas formas de medición del error de predicción para establecer las comparaciones entre ellas, a saber, el

⁴⁹ RUELAS SANTOYO, Edgar Augusto y LAGUNA GONZÁLEZ, José Antonio. Comparación de predicción basada en redes neuronales contra métodos estadísticos en el pronóstico de ventas. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 2013. p. 103.

⁵⁰ COLLANTES DUARTE, Joanna Verónica. Predicción con redes neuronales: Comparación con las metodologías de Box y Jenkins. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 2004. p. 85.

Error Cuadrático Medio (MSE) y el Error Absoluto Medio (MAE). Estas formas de medir los errores de predicción le dan gran ventaja a la metodología de RNA, que posee mejor rendimiento en estas estimaciones, y los valores de control de predicción que son estimados por las RNA tienen un ajuste muy similar al de los valores que hacen parte de la serie original”⁵¹

Así las cosas, esta parte del capítulo metodológico se concentrará en justificar el uso de las RNA a través de un análisis comparativo con los resultados de pronóstico obtenidos por medio del método lineal ARDL, como sigue.

6.2.1 Modelo de series de tiempo (Autoregressive Distributed Lag – ARDL –). Con la aplicación de un ARDL en series de tiempo se posibilita la transformación de datos para un pronóstico, de acuerdo a las características que sigue su proceso. Las razones para usar este modelo radica en la bondad de su técnica, que cubre aspectos como adaptación para datos de pequeña muestra, flexibilidad que provee de acuerdo al orden de integración de las variables, y el no requerimiento de realizar algunas pruebas previas de las variables que componen el modelo para el test de raíces unitarias. Además, “es muy adecuado para el tratamiento de las variables exógenas regresoras, independientemente si son de carácter integradas de orden cero (I (0)), integradas de orden uno (I (1)) o si resultan estar mutuamente integradas. A su vez, es importante especificar que cuando existe alguna variable que supera este orden de integración, [disminuye] la efectividad de la aplicación del modelo”⁵²

Una expresión de este modelo es presentada por Zamurrad, Ghulam y Khan⁵³ a continuación:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=0}^n \alpha_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^m \beta_i x_{t-i} + U_t \quad (1)$$

Donde $U_t \sim iid(0, \sigma^2)$, para lo cual se asume una condición de estabilidad, $|\alpha_i| > 1$.

⁵¹ SANTANA, Juan Camilo. Predicción de series temporales con redes neuronales: una aplicación a la inflación colombiana. Revista Colombiana de Estadística, 2006. p. 87.

⁵² ZAMURRAD JANJUA, Pervez; SAMAD, Ghulam y KHAN, Nazakatulla. Climate change and wheat production in Pakistan: An Autoregressive Distributed Lag Approach. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 2014. p. 14.

⁵³ Ibid.

Para el caso de este estudio, la relación entre las variables se expresa como:

$$\text{Nivel de Exportacion del Café (EXPORT)} = f(\text{Precipitaciones (P)}, \text{Precio Internacional (PI)}, \text{Tasa de Cambio Real (TCR)}) \quad (2)$$

Y la forma específica de un modelo ARDL que integra las variables anteriores y busca la relación de largo plazo entre ellas, se expresa de la siguiente manera:

$$\text{EXPORT} = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_1 \text{EXPORT}_{t-n} + \sum_{i=1}^n \beta_2 P_{t-n} + \sum_{i=1}^n \beta_3 \text{PI}_{t-n} + \sum_{i=1}^n \beta_4 \text{TCR}_{t-n} \quad (3)$$

Ahora bien, a partir de este momento al modelo anterior le serán aplicadas distintas pruebas econométricas y estadísticas por medio del Software Eviews 8.0 y 9.0, para observar el comportamiento de las variables a tratar. Aquí, comienza a denotarse procesos diferentes para la transformación de los datos, muy diferentes a la RNA, que no necesita de lialización de variables o conocer su conducta.

Por otro lado, se realiza las pruebas para conocer la longitud del rezago para el modelo ARDL. La selección del máximo valor de los rezagos, se realizó bajo la metodología Box-Jenkins. En este caso, ya verificado que todas las variables son integradas de orden uno (I (1)), se dio lectura al correlograma obteniendo los siguientes resultados:

Correlograma

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
** .	** .	1 -0.316	-0.316	27.687	0.000
. .	* .	2 -0.008	-0.120	27.705	0.000
* .	** .	3 -0.146	-0.210	33.683	0.000
. .	** .	4 -0.060	-0.216	34.690	0.000
. .	* .	5 -0.023	-0.190	34.844	0.000
. *	. .	6 0.130	-0.012	39.645	0.000
. *	. *	7 0.087	0.092	41.818	0.000
* .	. .	8 -0.073	-0.020	43.343	0.000
** .	** .	9 -0.228	-0.279	58.285	0.000
. .	* .	10 0.064	-0.127	59.466	0.000
* .	** .	11 -0.141	-0.288	65.219	0.000
. ***	. **	12 0.479	0.306	131.60	0.000
* .	. *	13 -0.091	0.150	134.01	0.000

. .	. .	14	-0.024	0.035	134.18	0.000
* .	* .	15	-0.169	-0.078	142.57	0.000
. .	. .	16	-0.046	-0.061	143.21	0.000
. .	. .	17	-0.001	-0.032	143.21	0.000
. *	. *	18	0.191	0.110	153.99	0.000
. .	* .	19	-0.033	-0.093	154.30	0.000
. .	* .	20	-0.008	-0.068	154.32	0.000
** .	* .	21	-0.224	-0.097	169.40	0.000
. .	* .	22	-0.010	-0.150	169.43	0.000
* .	* .	23	-0.074	-0.189	171.10	0.000
. ***	. *	24	0.418	0.092	224.23	0.000
. .	. *	25	-0.027	0.089	224.46	0.000
. .	. .	26	-0.064	0.009	225.71	0.000
* .	. .	27	-0.122	-0.007	230.29	0.000
. .	. .	28	-0.017	0.023	230.38	0.000
. .	. .	29	-0.048	0.006	231.08	0.000
. *	* .	30	0.150	-0.068	238.07	0.000
. .	* .	31	-0.004	-0.121	238.07	0.000
. .	. .	32	0.029	0.001	238.33	0.000
** .	. .	33	-0.243	-0.025	256.95	0.000
. .	. .	34	0.024	-0.025	257.12	0.000
. .	. .	35	-0.025	-0.042	257.32	0.000
. **	. .	36	0.318	0.044	289.53	0.000
. .	. .	37	-0.022	0.019	289.69	0.000
. .	. .	38	-0.026	0.021	289.92	0.000
* .	. .	39	-0.144	-0.033	296.60	0.000
. .	. .	40	-0.018	-0.005	296.70	0.000
. .	. .	41	-0.052	-0.050	297.58	0.000
. *	. .	42	0.198	0.012	310.38	0.000
. .	. .	43	-0.049	-0.057	311.15	0.000
. .	* .	44	-0.018	-0.131	311.26	0.000
* .	. .	45	-0.127	0.020	316.62	0.000
. .	. .	46	-0.039	-0.002	317.12	0.000
. .	* .	47	-0.045	-0.089	317.80	0.000
. **	. .	48	0.297	-0.026	347.40	0.000
. .	. .	49	0.014	0.013	347.47	0.000
. .	. .	50	-0.037	0.017	347.94	0.000
* .	. .	51	-0.114	0.046	352.35	0.000
. .	. .	52	-0.006	-0.045	352.36	0.000
. .	. .	53	-0.063	-0.031	353.72	0.000
. *	. .	54	0.156	0.010	362.12	0.000
. .	. .	55	-0.013	-0.022	362.18	0.000
. .	. .	56	0.014	0.024	362.24	0.000
* .	. .	57	-0.149	0.034	370.03	0.000
. .	. .	58	-0.014	0.031	370.10	0.000
* .	* .	59	-0.081	-0.108	372.42	0.000
. **	. .	60	0.327	0.061	410.30	0.000
. .	. .	61	-0.028	0.025	410.57	0.000
. .	. .	62	-0.054	-0.058	411.63	0.000
* .	. .	63	-0.074	-0.048	413.62	0.000
. .	. .	64	-0.013	-0.003	413.68	0.000
* .	. .	65	-0.079	-0.021	415.94	0.000
. *	. .	66	0.150	-0.014	424.10	0.000
. .	. .	67	0.026	0.006	424.35	0.000
. .	* .	68	-0.052	-0.085	425.35	0.000

* .	* .	69	-0.154	-0.112	434.12	0.000
-----	-----	----	--------	--------	--------	-------

Se observa por medio del correlograma de la función de autocorrelación y función de autocorrelación parcial (FAC Y FACP), el tamaño de la longitud del rezago; donde en este muestra un corte cada 12. Se decide estimar un ARDL (12, 12, 12,12). Una vez depurado el modelo, muestra un ARDL (12, 10, 12,12). Con los rezagos significativos en 1, 2, 6, 9,12 para la variable dependiente exportaciones (EXPORT); para la variable independiente precipitaciones (P) en los rezagos 3, 7 y 10; para el Precio Internacional (PI) en 1, 5, 7, 9 y 12; y por último, para la Tasa de Cambio Real posee valores significativos en los rezagos 6 y 12.

Criterio de información de Akaike y Schwarz para la escogencia de modelos

R-squared	0.682232	Mean dependent var	878.6674
Adjusted R-squared	0.661648	S.D. dependent var	235.3547
S.E. of regression	136.9012	Akaike info criterion	12.73862
Sum squared resid	4629256.	Schwarz criterion	12.96889
Log likelihood	-1664.498	Hannan-Quinn criter.	12.83115
F-statistic	33.14359	Durbin-Watson stat	1.879391
Prob(F-statistic)	0.000000		

Para este modelo se tiene un R-cuadrado ajustado del 66.16%. Para los criterios de infomarcion de Akaike (AIC) y el criterio de infomación de Schwarz (BIC) tienen valores de 12.7386 y 12.96889 respectivamente.

Ahora bien, el modelo fue comparado con el método de regresión dinámica. Este método hace estimación a diferentes modelos ARDL y selecciona aquel con menor AIC y BIC. EvIEWS 9.0 hace este cálculo automáticamente, seleccionando de igual forma el número de rezagos. El modelo que arroja es un ARDL (12, 3, 1, 1); de esta forma, eliminando secuencialmente los rezagos no significativos, se obtuvo un ARDL (12,3,1). Para la variable dependiente exportaciones (EXPORT), sus rezagos significativos son 1, 2, 7, 9 y 12; par la variable independiente precipitaciones (P) el 1 y 3; para el Precio Internacional (PI) el rezago 1 y para la variable Tasa de Cambio Real, es no significativa para ningún rezago.

Criterio de información de Akaike y Schwarz para la escogencia de modelos

R-squared	0.621816	Mean dependent var	878.6674
Adjusted R-squared	0.608416	S.D. dependent var	235.3547
S.E. of regression	147.2772	Akaike info criterion	12.85965
Sum squared resid	5509402.	Schwarz criterion	12.99510
Log likelihood	-1687.474	Hannan-Quinn criter.	12.91408
F-statistic	46.40344	Durbin-Watson stat	1.850882
Prob(F-statistic)	0.000000		

El R-cuadrado de este modelo es de 60.84 %. El AIC Y BIC posee valores de: 12.85965 y 12.99510.

Después de comparar los dos modelos, se observa que el primer modelo posee un R-cuadrado mayor y sus criterios de información menores, lo que indica que, el modelo con mejor ajuste es el ARDL (12, 10, 12, 12)

Ahora bien, el modelo a estimar es un ARDL 12,10,12,12, representado por la siguiente ecuación:

$$EXPORT = \beta_0 + \sum_{i=1}^{12} \beta_1 EXPORT_{t-12} + \sum_{i=1}^{10} \beta_2 P_{t-10} + \sum_{i=1}^{12} \beta_3 PI_{t-12} + \sum_{i=1}^{12} \alpha_4 TCR_{t-12} \quad (4)$$

Así las cosas, se aplica a continuación el test de raíces unitarias DFA (Dickey Fuller Aumentado), para observar que el grado de integración de las variables implicadas en el modelo no supere un orden de integración mayor a dos. La hipótesis de la prueba se expresa de la siguiente manera:

$$H_0: \alpha_1 = 1 \quad H_1: \alpha_1 < 1$$

La hipótesis nula de esta prueba indica la presencia de raíces unitarias, mostrando que las variables no tienen un proceso estacionario. La tabla 2 se enseña, de manera resumida, los resultados desarrollados por el test aplicado por medio del software

Variable	Estadístico ADF	P valor	Intercepto y tendencia	Orden de integración
Niveles				
EXPORT	-3.117607	0.1044	SI	I(1)
P	-42.77313	0.0040	SI	I(1)
PI	-2.2466144	0.4646	SI	I(1)
TCR	-2.246144	0.4616	SI	I(1)
Orden de diferencia (1)				
DEXPORT	-6.852344	0.0000	NO	I(0)
DP	-17.15904	0.0000	NO	I(0)
DPI	-17.55297	0.0000	NO	I(0)
DTCR	-11.98079	0.0000	NO	I(0)
Los valores MacKinnon para el acepto o rechazo de la hipótesis de presencia de raíces unitarias Estadísticamente significativo a cualquier nivel: 1% 5% 10%				

Tabla 2 Resultados de la prueba ADF. Análisis presencia de raíces unitarias. Datos mensuales 1990-2012

Se acepta la hipótesis nula, pues el valor estadístico del ADF es menor que el valor crítico mostrado por McKinnon al 1%, 5%, 10% para todas las variables en niveles. En este orden de ideas, los resultados señalan que no se posee un comportamiento estacionario de las variables durante su proceso. Para el desarrollo del modelo es indispensable encontrar estacionariedad en las series, ya que si se estima un modelo y sus variables poseen tendencia (no son estacionarias), se cae en una descripción errónea de las relaciones entre las variables. A su vez, un modelo estimado en niveles (sin diferenciar) y que posea una tendencia creciente⁵⁴ arrojará resultados del valor explicativo bastante elevados (R^2), indicando que el estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) es poco o no consistente, conllevando a conclusiones engañosas del modelo y a tendencias falsas referentes al futuro del nivel de exportaciones del café.

Para eliminar dicha tendencia en la serie de tiempo, se puede utilizar el método de diferenciación, como se muestra en la tabla. Cuando una serie es diferenciada y se convierte

⁵⁴ Media y varianza que dependen del tiempo y no son constantes.

en estacionaria, es conocida como serie integrada de orden d , $I(d)$, donde d indica el número de veces a diferenciar para que la serie elimine su tendencia o el número de raíces unitarias que posee. Así, para conocer el orden de integración de las series, se diferenció y estimó de nuevo la prueba de raíces unitarias, logrando encontrar órdenes de integración menores a 2, con el estadístico asociado a ésta menos que un nivel de significancia del 0.05% y aceptando la hipótesis de estacionariedad. Finalmente, se permite la estimación del modelo ARDL.

En este orden de ideas, dadas las respectivas pruebas que corroboran especificidades propias para la aplicación del modelo ARDL, el mismo puede ya pasar a estimar la incidencia de las variables independiente sobre el desarrollo de las exportaciones de café, como se muestra en la siguiente salida otorgada por el software.

6.2.1.1. Estimación modelo ARDL de exportaciones de café suave colombiano. 1990-2012

Entonces, comenzando por analizar el estadístico F de significancia global, se permite rechazar la hipótesis nula de no relevancia de los coeficientes estimados, por lo tanto el modelo es globalmente significativo. El R -cuadrado, que representa el ajuste del modelo a los datos, muestra un valor aceptable de ajuste equivalente a un 68,22%.

Dependent Variable: EXPORT

Method: Least Squares

Date: 10/14/15 Time: 12:16

Sample (adjusted): 1991M01 2012M12

Included observations: 264 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
EXPORT(-1)	0.282314	0.052632	5.363871	0.0000
EXPORT(-2)	0.219625	0.055106	3.985520	0.0001
EXPORT(-6)	0.081442	0.049078	1.659457	0.0983
EXPORT(-9)	-0.105661	0.048388	-2.183612	0.0299
EXPORT(-12)	0.315273	0.045316	6.957263	0.0000
P(-3)	-0.006865	0.002481	-2.766942	0.0061
P(-7)	0.005370	0.002582	2.079648	0.0386
P(-10)	-0.007645	0.002716	-2.815055	0.0053
PI	1.022224	0.608353	1.680314	0.0942
PI(-1)	-1.291914	0.672755	-1.920335	0.0560
PI(-5)	-1.884677	0.544743	-3.459753	0.0006
PI(-7)	2.508555	0.672369	3.730920	0.0002
PI(-9)	-1.864454	0.606467	-3.074286	0.0023

PI(-12)	1.169276	0.417124	2.803187	0.0055
TCR(-6)	-5.914316	1.436805	-4.116297	0.0001
TCR(-12)	5.720602	1.363211	4.196417	0.0000
C	321.6358	211.3296	1.521962	0.1293
<hr/>				
R-squared	0.682232	Mean dependent var	878.6674	
Adjusted R-squared	0.661648	S.D. dependent var	235.3547	
S.E. of regression	136.9012	Akaike info criterion	12.73862	
Sum squared resid	4629256.	Schwarz criterion	12.96889	
Log likelihood	-1664.498	Hannan-Quinn criter.	12.83115	
F-statistic	33.14359	Durbin-Watson stat	1.879391	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Con esto, se muestran resultados con un impacto positivo y significativo a todos los niveles convencionales sobre la variable dependiente explicado por los niveles exportados en sus rezagos 1, 2 y 12. (0.282 , 0.219 y 0.31 respectivamente), sugiriendo que las exportaciones de café experimentan lo que podría entenderse como un proceso de inercia en su serie para el corto plazo, es decir, un valor alto de exportaciones hoy podría indicar un nivel alto en el próximo mes o incluso en los próximos seis meses. Este fenómeno puede explicarse teóricamente como resultado de una tendencia en la demanda del producto que Cano et al señalaban.

La tasa de cambio real tiene un comportamiento mixto sobre los niveles de exportaciones, negativo para su sexto rezago y positivo para un rezago de 12 meses (-5,91 y 5.72, respectivamente). Ambos coeficientes son significativos a todos los niveles convencionales. Este resultado sugiere que una devaluación del peso con respecto al dólar aumenta el nivel de exportaciones en periodos de incorporación de información al proceso productivo equivalentes a 12 meses, es decir, cuando los productores y exportadores se sienten en un ambiente en donde el mediano plazo ha disminuido el riesgo con respecto a sus ganancias.

Sin embargo si este periodo es menor, como en el caso de 6 meses, un dólar más caro reducen las exportaciones, como se mencionó en subcapítulos anteriores, ya sea porque los ingresos no generan utilidad, el riesgo de pérdidas es mayor y es más rentable aumentar inventarios, o por el encarecimiento de los insumos importados. La determinación exacta de las causas de este fenómeno escapa del propósito de este trabajo y se dejan para futuros estudios.

Por otra parte, los efectos de los precios internacionales junto con sus diferentes rezagos sobre el nivel de exportación actual presentan también un comportamiento variado. Los niveles de precios actuales y en los rezagos 7 y 12 tienen un efecto positivo sobre la exportación actual (1.02, 2.5 y 1.16, respectivamente), sin embargo los demás rezagos actúan de manera negativa sobre la cantidad de sacos exportados (-1.29, -1.88 y -1.86, para los rezagos 1, 5 y 9 respectivamente). Todos los rezagos son significativos a los niveles convencionales a excepción del primer rezago y el nivel de precios actual, estos últimos solo los son a un nivel de significancia del 10%.

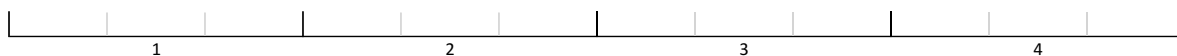
Finalmente el nivel de precipitaciones tiene un efecto positivo sobre la cantidad de sacos exportados en el séptimo rezago de su especificación, mientras que en los rezagos 3 y 10 muestra un efecto negativo sobre las exportaciones (-0.006, 0.005 y -0.007, respectivamente). Todos estos coeficientes son significativos a todos los niveles convencionales, a excepción del séptimo rezago que lo cumple al 5% de significancia.

Con esta especificación se encuentra evidencia para sugerir que el nivel actual de exportaciones puede explicarse como el resultado de un proceso que incluye el comportamiento no solo de sí mismo en el tiempo, sino también, de las diferentes variables introducidas en el modelo explicativo.

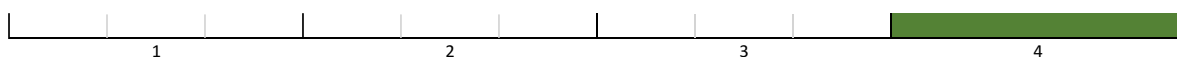
Un análisis general final puede realizarse con respecto al impacto de las variables. Se partirá siempre del supuesto en el que en el instante mismo en que se cosecha el producto, se exporta. Es importante aclarar que la cosecha de café que se analiza en este trabajo se desarrolla en los meses de octubre noviembre y diciembre. Esta característica es importante ya que da validez a la metodología de rezagos debido a que introducir el comportamiento de las variables explicativas en el tiempo otorgará una mejor comprensión de los niveles exportados. El análisis de impacto de las precipitaciones y el precio internacional, se describe de la siguiente manera.

- **Precipitaciones**

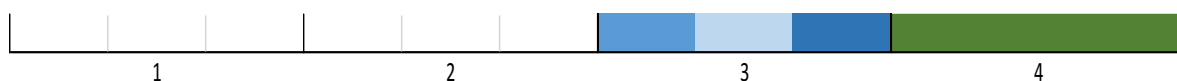
Para analizar la relevancia e implicaciones de los resultados se hará uso de la siguiente figura:



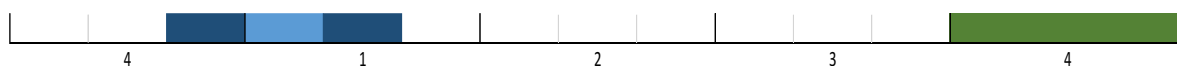
Esta línea temporal representa un año, dividido en cuatro trimestres, de esta forma la época de cosechas puede ser representada así:



P (-3) y (-10): Este rezago del nivel de precipitaciones equivalente a un trimestre fue significativo a todos los niveles convencionales y presentó un efecto negativo sobre las exportaciones, al igual que el segundo rezago, cercano a tres trimestres y equivalente a tres meses. Las figuras muestra que a mayor nivel de precipitaciones en cualquiera de los meses indicados afectará el nivel de exportaciones en la época de cosecha. Probablemente, estos serán meses en donde el fenómeno dela Niña incremente el flujo de lluvias y genere excesos que impactan fuertemente el periodo más cercano a la cosecha o a la siembra, en donde las plantas son más propensas a los daños.



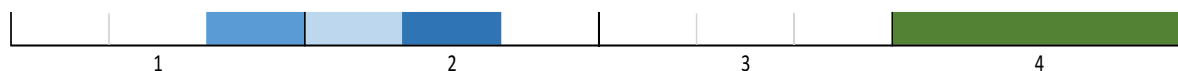
P (-3)



P (-10)

P (-7): Este rezago del nivel de precipitaciones cercano a dos trimestres y equivalente a 7 meses fue significativo a todos los niveles convencionales y presentó un efecto positivo sobre las exportaciones. La figura muestra que a mayor nivel de precipitaciones en cualquiera de

los meses indicados afectará el nivel de exportaciones en la época de cosecha, sin que ello signifique un exceso de lluvias que afecte negativamente el desarrollo del cafeto y muy al contrario, que altas precipitaciones sean necesarias.



P (-7)

- **Precio Internacional del café**

PI(-1) y PI (-5): Estos rezagos de los precios internacionales equivalentes a un mes y cinco meses, poseen un impacto negativo sobre el nivel de exportaciones, en las estimaciones solo fue significativo al 10% para PI(1) y PI(5) a todos los niveles convencionales. En este caso, puede estarse en un escenario en donde el aumento en los precios, o simplemente su nivel, no sea el más adecuado para las negociaciones del grano en un periodo muy cercano o simultáneo con la cosecha, como se observa en estas líneas de tiempo.



PI(-1)

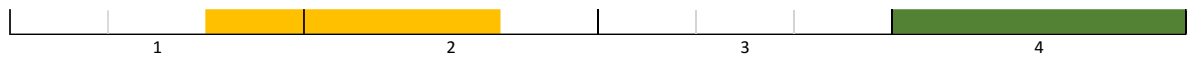


PI(-5)

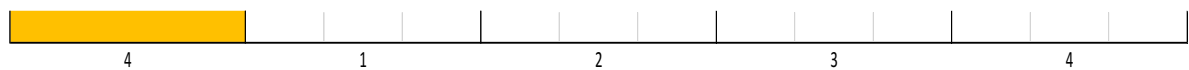
PI(-7) y PI(-12): Estos rezagos cercanos a un semestre y equivalente a siete meses y doce meses, evidencia un impacto positivo del nivel de precios sobre el nivel de exportaciones. Las estimaciones muestran que son significativos a todos los niveles convencionales. Las razones, pueden considerarse en términos de una especulación sobre un ambiente positivo para la negociación, pues habría ya pasado un tiempo suficiente para establecer e identificar los riesgos de la producción y la exportación con respecto a los beneficios. De hecho, puede

notarse en PI(-12) que son los precios del año previo quienes determinan decisiones sobre las negociaciones del año presente.

PI(-7)



PI(-12)



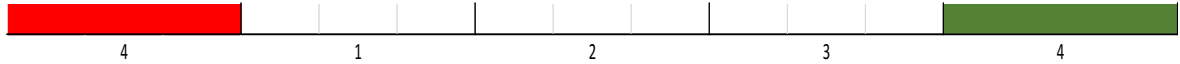
En resumen, los niveles de precios tienden a afectar positivamente el nivel de exportación cuando se incorporan a las decisiones de producción con un adelanto de 7 a 12 meses, lo cual puede evidenciar la existencia de un lapso entre la decisión de producción y la decisión de exportación.

- **Tipo de cambio (USD/COP)**

P(-6) y P (-12): estos rezagos cercanos a seis meses y doce meses enseñan impactos negativos y positivos respectivamente, con un alto nivel de significancia, sobre el nivel de exportaciones. Los resultados pueden interpretarse en la medida que un menor plazo no permite entender al exportador o al comprador internacional las señales de las variaciones del tipo de cambio, especialmente cuando ello depende en simultánea de la volatilidad de los precios internacionales. Por otro lado, en P (-12), el exportador ya posee un panorama del año cafetero anterior y de las influencias que ello tuvo sobre las dinámicas del mercado pasado, dejando abierto el campo para la especulación de mejores beneficios para la nueva producción. Es decir, que él toma sus decisiones de acuerdo a lo que aconteció el año anterior y es prevenido al respecto de los movimientos sucedidos momentos previos a la nueva cosecha.



P (-6)



P (-12)

Ahora bien, al realizar la estimación del modelo, siempre se encontrará presente la indecisión acerca de que si este fue o no adecuado en la especificación elegida. Para ello, se deben analizar los atributos del mismo por medio de la aplicación de diferentes pruebas que garanticen la aceptación de la ecuación estimada.

Para que los parámetros estimados se puedan validar, se necesita comprobar normalidad, homocedasticidad, no presencia de autocorrelación y media nula del modelo. Al comprobar que estos se comportan de manera acertada, se indica que el modelo posee una correcta especificación y así podrá tenerse la certeza sobre su estabilidad para la predicción.

En primer lugar, la prueba realizada a continuación indica si los residuos distribuyen de forma normal. Este análisis es realizado con el fin de que con presencia de normalidad, podrá hacerse uso de posteriores pruebas estadísticas, necesarias para observar el cumplimiento de eficiencia del modelo. Para ello, se utiliza el estadístico de Jarque-Bera, que considera cuánto se desvían los coeficientes de asimetría y curtosis (para este caso, en los errores) y así, concluir de qué forma se distribuye los datos analizados. La prueba sostiene una hipótesis nula que se acepta normalidad, contra la alterna que la rechaza. En el gráfico 10 se muestra el resultado de la prueba, aplicado en los residuos del modelo.

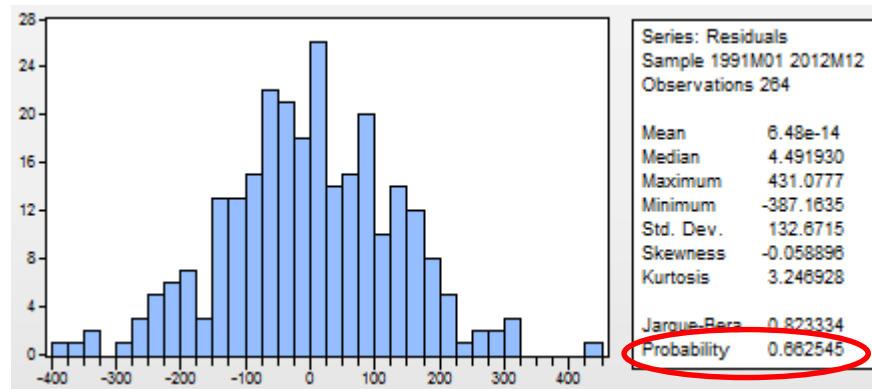


Gráfico 10 Test de distribución normal para los residuos

Para cualquier nivel de significancia entre el 1% y el 10 % no se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los errores del modelo. La probabilidad asociada al estadístico de la prueba es del 66.25%, concluyendo que los estadísticos de prueba de significancia individual y global tienen la distribución teórica correcta y por tanto, se confía en ellos.

Otra propiedad para que el modelo cumpla el requisito de especificación, es que no existan problemas de autocorrelación. El problema existe cuando los residuos del modelo poseen dependencia entre ellos, o sea $E(U_i U_j) \neq 0, \forall i \neq j$, haciendo que los estimadores obtenidos por el método utilizado sean poco eficientes. Si se indica poca eficiencia, puede mostrarse que la precisión del modelo trabajado es baja, causado por una alta varianza entre los estimadores. Para encontrar o descartar este problema, es utilizado el correlograma de los residuales, para examinar el ACF y PACF. La hipótesis nula es la no existencia de autocorrelación. A continuación, se muestra del correlograma desarrollado por el software.

Correlograma de los residuos del modelo

Date: 03/27/16 Time: 19:59
Sample: 1990M01 2012M12
Included observations: 264

Autocorrelation		Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
. .	. .	1	0.060	0.060	0.9455	0.331	
. .	. .	2	0.035	0.031	1.2660	0.531	
. *	. *	3	0.148	0.144	7.1284	0.068	
. *	. .	4	0.079	0.063	8.8024	0.066	
* .	* .	5	-0.068	-0.086	10.071	0.073	

. .	. .	6	-0.027	-0.046	10.270	0.114
. *	. *	7	0.105	0.096	13.264	0.066
* .	. .	8	-0.072	-0.065	14.699	0.065
. .	. .	9	-0.010	0.012	14.726	0.099
. .	. .	10	-0.013	-0.039	14.771	0.141
. .	. .	11	-0.034	-0.033	15.101	0.178
. .	. .	12	0.006	0.037	15.113	0.235
. .	. .	13	-0.035	-0.032	15.461	0.279
* .	* .	14	-0.127	-0.135	19.960	0.131
* .	* .	15	-0.125	-0.107	24.341	0.060
. .	. .	16	-0.015	0.001	24.405	0.081
. .	. .	17	-0.044	0.013	24.948	0.096
. .	. .	18	0.002	0.058	24.949	0.126
* .	* .	19	-0.137	-0.167	30.295	0.048
. .	. .	20	-0.012	-0.018	30.338	0.065
. .	. .	21	-0.063	-0.048	31.485	0.066
* .	. .	22	-0.078	-0.032	33.270	0.058
. .	. .	23	-0.008	0.013	33.288	0.076
. *	. *	24	0.157	0.166	40.489	0.019
. .	. .	25	-0.019	-0.052	40.591	0.025
* .	* .	26	-0.099	-0.086	43.484	0.017
. .	. .	27	0.032	-0.041	43.782	0.022
. .	. .	28	-0.026	-0.056	43.989	0.028
* .	* .	29	-0.093	-0.068	46.568	0.021
* .	* .	30	-0.073	-0.082	48.151	0.019
. .	* .	31	-0.035	-0.069	48.529	0.023
. .	. .	32	-0.003	0.054	48.532	0.031
* .	* .	33	-0.086	-0.083	50.773	0.025
. .	. .	34	-0.011	-0.057	50.808	0.032
. .	. .	35	0.003	-0.019	50.811	0.041
. *	. *	36	0.112	0.090	54.642	0.024
. .	. .	37	-0.013	0.002	54.691	0.031
. .	. .	38	0.002	0.019	54.692	0.039
. .	. .	39	0.016	-0.026	54.773	0.048
. .	. .	40	0.038	-0.005	55.219	0.055
. .	* .	41	-0.055	-0.101	56.188	0.057
. .	. .	42	0.000	-0.034	56.188	0.070
. .	* .	43	-0.056	-0.091	57.168	0.073
. .	. .	44	-0.028	-0.041	57.420	0.084
. .	. .	45	0.042	0.029	57.987	0.093
. .	. .	46	-0.016	0.000	58.068	0.109
. .	. .	47	0.013	-0.030	58.124	0.128
. *	. .	48	0.113	0.027	62.286	0.081
. .	. .	49	0.037	-0.011	62.731	0.090
. .	. .	50	-0.019	0.005	62.853	0.105
. .	. .	51	-0.000	-0.021	62.853	0.123
. .	. .	52	0.031	-0.035	63.176	0.138
* .	. .	53	-0.068	-0.043	64.722	0.130
. .	. .	54	-0.023	-0.028	64.901	0.147
. .	* .	55	-0.036	-0.072	65.347	0.160
. .	. .	56	0.062	0.044	66.633	0.156
. .	. .	57	-0.006	0.006	66.646	0.179
. .	. .	58	-0.008	-0.035	66.666	0.204
. .	. .	59	-0.011	-0.059	66.710	0.229
. *	. *	60	0.154	0.114	74.899	0.093

* .	* .	61	-0.070	-0.099	76.580	0.086
. .	. .	62	-0.033	-0.029	76.951	0.096
. *	. .	63	0.082	0.008	79.319	0.080
. .	. .	64	0.021	0.014	79.467	0.092
. .	. .	65	-0.050	-0.006	80.354	0.095
. .	. .	66	-0.014	-0.032	80.426	0.109
. .	* .	67	-0.017	-0.071	80.524	0.124
. .	. .	68	-0.058	-0.031	81.743	0.122
. .	. .	69	0.011	0.006	81.783	0.139

En los resultados se aprecia que todos los valores son superiores al 1%, algunos al 5% y otros al 10%, indicando un comportamiento ruido blanco en los errores.

También existen otras pruebas para detectar la autocorrelación en modelos estimados. Una de ellas, es la prueba de Durbin-Whatson. Sin embargo, esta prueba no se puede utilizar, pues las características del modelo poseen una variable dependiente que tiene información de ella misma en el pasado. En este caso, es conveniente utilizar la prueba H de Durbin, que permite detectar autocorrelación en modelos que poseen rezagos en su variable dependiente.

La hipótesis nula de este estadístico define que los errores del modelo poseen una raíz unitaria en su proceso, frente a la alternativa de siguen un proceso estacionario de orden uno. Mediante el procesamiento de los datos en el software, se encontró que el resultado del P valor de la prueba es del 5.22%, indicando que con un nivel de significancia del 1% y 5%, no existe autocorrelación de primer orden en el modelo

Por otro lado, un modelo estimado por el método de MCO exige que la varianza de los errores del modelo, para los valores de los regresores de las variables independientes, sea constante, implicando con ello problemas de heterocedasticidad. Según de Arce y Mahía “utilizar MCO considerando existencia de heterocedasticidad trae consigo un problema de eficiencia lo cual significa que los contrastes de significación habituales ‘t’, ‘F’, Chi-Cuadrado tenderían a ser más exigentes, a ofrecer resultados menos concluyentes al tiempo que los intervalos de confianza habitualmente computados para los parámetros tenderán a ser más amplios”⁵⁵.

⁵⁵ De ARCE, Rafael y MAHÍA, Ramón. Conceptos básicos sobre la heterocedasticidad en el modelo básico de regresión lineal Sitio web oficial Universidad Autónoma de Madrid, 2011. p. 5

Para detectar heterocedasticidad en los modelos, se encuentran diferentes estadísticos de prueba. Entre los más conocidos se encuentra la prueba de White, conocido como la prueba general. La hipótesis nula de este contraste es la presencia de homocedasticidad en el modelo. Dada la magnitud de la muestra, se incluyen los términos cruzados de las variables independientes para percibir un resultado más eficiente. A continuación, se enseña la salida del test desarrollado por el Software.

Prueba de heterocedasticidad de White

Heteroskedasticity Test: White

F-statistic	1.167545	Prob. F(152,111)	0.1942
Obs*R-squared	162.4147	Prob. Chi-Square(152)	0.2669
Scaled explained SS	159.7241	Prob. Chi-Square(152)	0.3178

Se repasa con detalle el resultado de las observaciones multiplicado por el R cuadrado, y se concluye por el P valor asociado al resultado de la multiplicación, que se acepta la hipótesis nula de homocedasticidad en los errores (constantes a lo largo del proceso), a todos los niveles de significancia estadística. Con esto, se afirma que los errores no afectan la eficiencia del modelo uniecuacional estimado para el análisis del nivel de exportaciones.

Finalmente, procede a elaborarse el análisis de heterocedasticidad con la prueba Breush-Pagan-Godfrey. Para este test, a diferencia del de White, se asume que los errores del modelo distribuyen normalmente. La hipótesis nula define la presencia de homocedasticidad. A continuación se muestran los resultados de la salida arrojada por el Software.

Prueba Breush-Pagan-Godfrey para análisis de heterocedasticidad

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey

F-statistic	1.861775	Prob. F(16,247)	0.0246
Obs*R-squared	28.41210	Prob. Chi-Square(16)	0.0282
Scaled explained SS	27.94143	Prob. Chi-Square(16)	0.0321

A un nivel de confianza del 95% se acepta la hipótesis de homocedasticidad, denotando un buen comportamiento de los errores provenientes de la estimación del modelo.

Ahora bien, después de que el modelo es significativo e eficiente a todos los niveles, se dirige la atención al análisis del pronóstico del modelo.

6.2.1.2. Pronóstico para el nivel de exportaciones de café suave colombiano. La metodología de ARDL permite dentro de su especificación llevar a cabo el desarrollo de pronósticos ex ante y ex post para analizar el ajuste de las estimaciones a las series reales, con el propósito de que el análisis de este ajuste permitirá a futuros estudios aplicar los resultados obtenidos por este trabajo.

- **Análisis intramuestra**

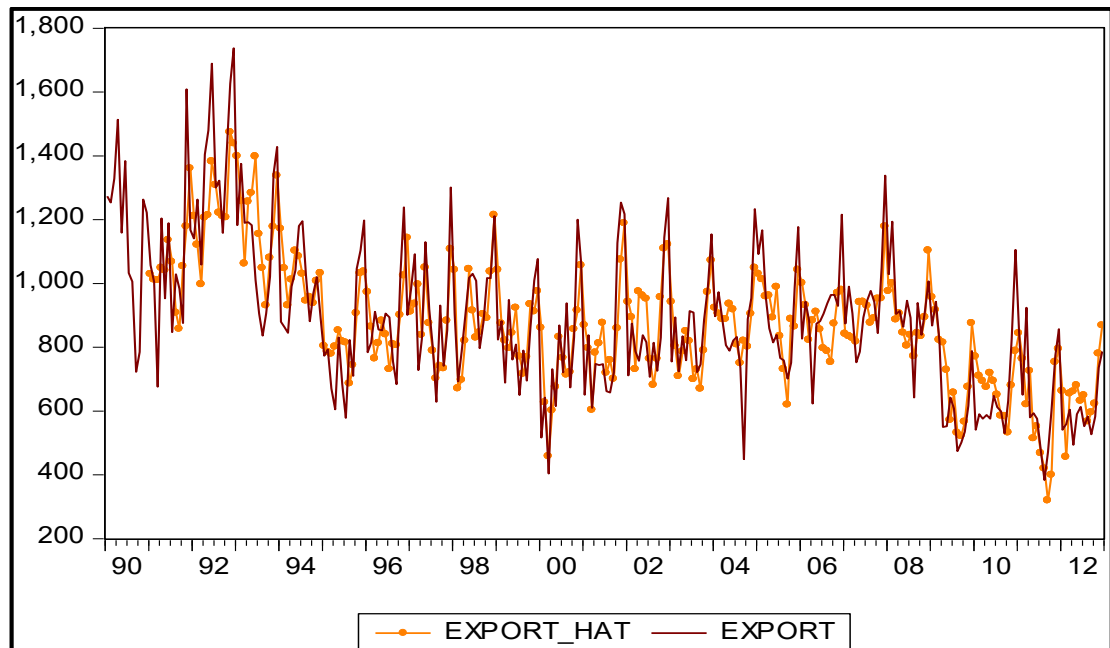


Gráfico 11 Serie estimada vs observada para exportaciones de café suave colombiano (cientos de sacos de 60 kg). 1990-2012

Este gráfico, desarrollado por el Software, expone una evidencia visual en donde que las estimaciones del modelo propuesto y las variables explicativas que fueron introducidas, se ajustan al comportamiento de la serie que describe al nivel de exportaciones de café. Así, el modelo ADRL intramuestra expone un ajuste satisfactorio.

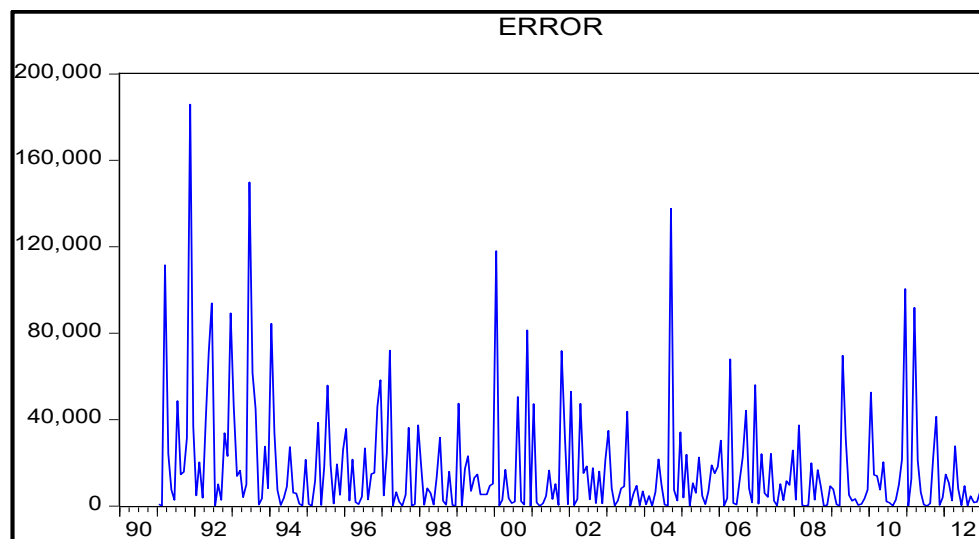


Gráfico 12 Errores de la muestra (sacos de 60kg)

Sin embargo, la gráfica 2 que muestra el comportamiento de los errores (la diferencia entre la serie observada y la serie estimada al cuadrado) muestra sensibilidad ante los periodos de volatilidad y de imprecisión al interior del modelo entre los años 1990 y 2012. Este fenómeno puede ser explicado como el resultado de una coyuntura económica internacional y nacional que se escapa a la especificación propuesta y por tanto evidencia que una de las limitaciones del enfoque ARDL es la habilidad de enfrentarse a periodos de alta volatilidad.

Posteriormente, la grafica 3 enseña el comportamiento de la serie estimada junto con las series que representan tanto la banda superior como inferior de un intervalo de confianza al 95% para el modelo. Se detalla un buen comportamiento de la estimación del modelo al interior de este nivel de significancia.

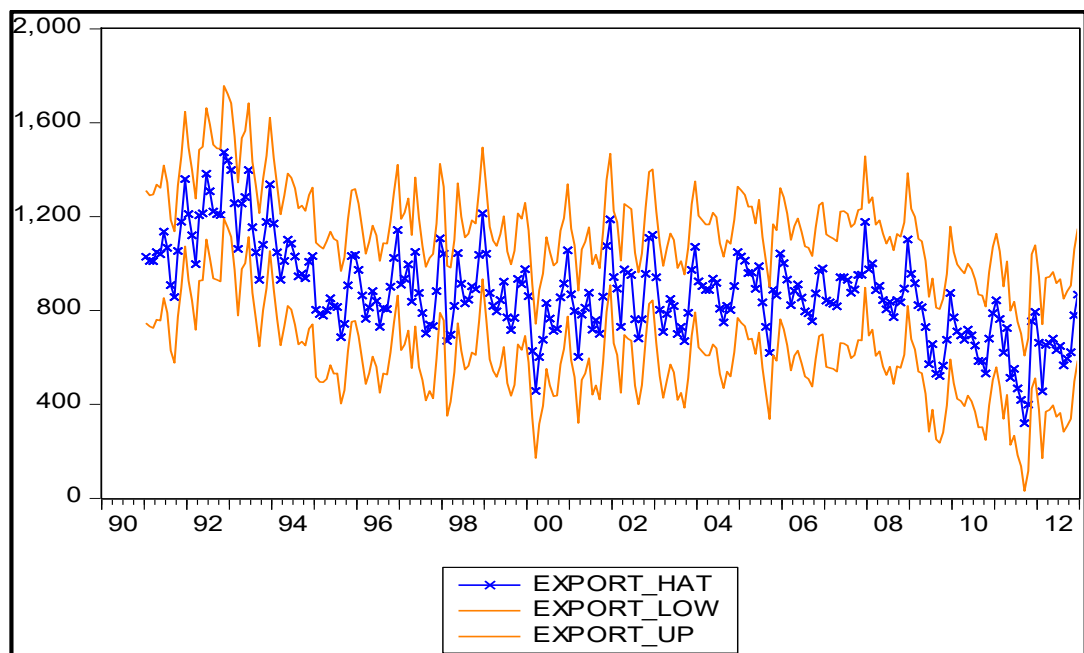


Gráfico 13 Bandas de confianza para la serie estimada (cientos de sacos de 60 kg)

- **Análisis fuera de la muestra**

El gráfico 14 a continuación ofrece una visión sobre cómo el modelo estimado se comporta al autogenerarse frente a la serie de exportaciones observada. La evidencia visual muestra que un año de pronóstico (2012) sigue replicando de manera general el comportamiento y tendencia de las exportaciones de café.

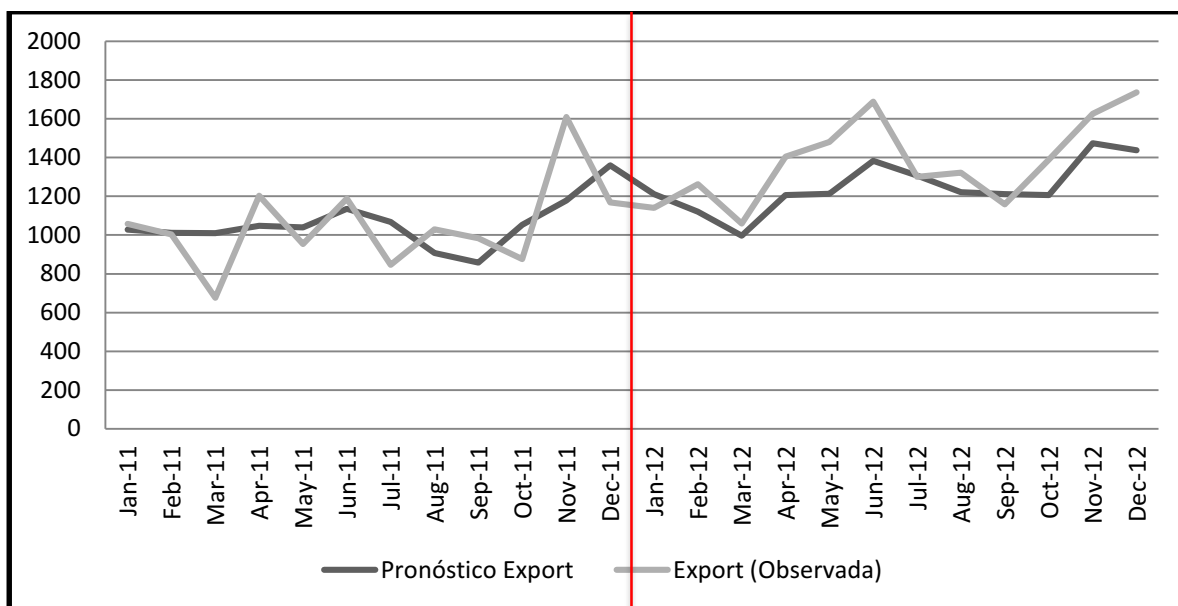


Gráfico 14 Pronósticos fuera de muestra un año para exportaciones de café suave colombiano (cientos de sacos de 60kg)

Fuente: Cálculos propios del autor con base en información de la Federación Nacional de Cafeteros, 2015.

Sin embargo la gráfica 15 indica considerables imprecisiones al respecto de los errores, los cuales tienden a ser más grandes que aquellos observados en los pronósticos intramuestra.

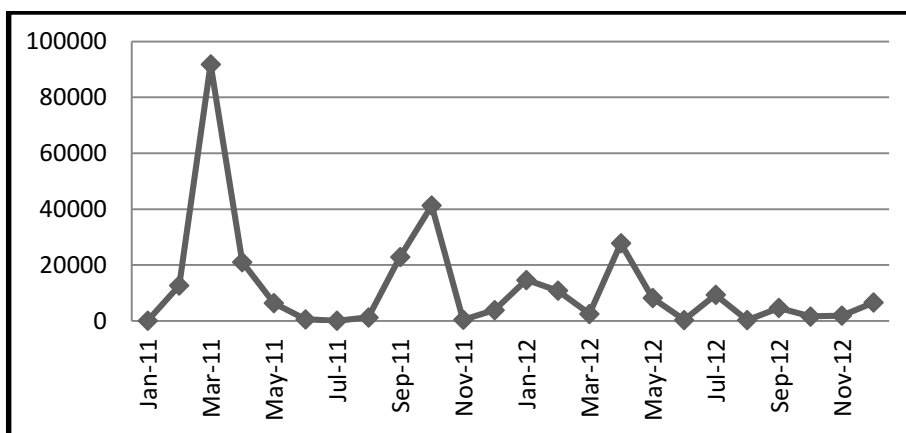


Gráfico 15 Errores de pronóstico a un año de las exportaciones de café suave colombiano (sacos de 60kg). Mensual 2012

Fuente: cálculos propios con base en información de la Federación Nacional de Cafeteros, 2015.

Estos resultados, han sido también constatados en las declaraciones previamente otorgadas por Villada, Cadavid y Molina; Villada, Muñoz y García; Collantes y otros, cuando describen

que los modelos lineales funcionan mejor intra muestra con deficiencias serias fuera de la muestra. Así las cosas, el modelo pierde ajuste cuando se usa para periodos de pronóstico.

6.2.2. Redes Neuronales Artificiales –RNA–. Una red neuronal artificial puede ser definida como un conjunto de datos que son procesados de forma que, entre ellos, realizan intercambios de información, generando así, una respuesta basada en su conjunto de datos. La estructura de red neuronal artificial más conocida, es la de perceptron multicapa. Este tipo red agrupa las neuronas en diferentes capas que se encuentran en forma de niveles. Así, existe una capa de entrada, las capas ocultas y una capa de salida, como se mostró en la figura 1.

La capa de entrada, se dedica a recolectar la información obtenida del fenómeno que se desea estudiar, generando una propagación de la información hacia la siguiente capa. La siguiente capa, recibe el nombre de capa oculta, y se encarga de iterar la información de forma no lineal, entregando, consecuentemente, la información a la siguiente capa. Luego, la capa que otorga la respuesta de la iteración de información de las dos capas anteriores, se conoce como capa de salida, quien se encarga de exponer al exterior los resultados de la red. Este tipo de red es conocida como feed forward, y se caracteriza por procesar información en una neurona anterior que luego es entregada a una posterior. La figura 2, enseña una forma reducida para la RNA.

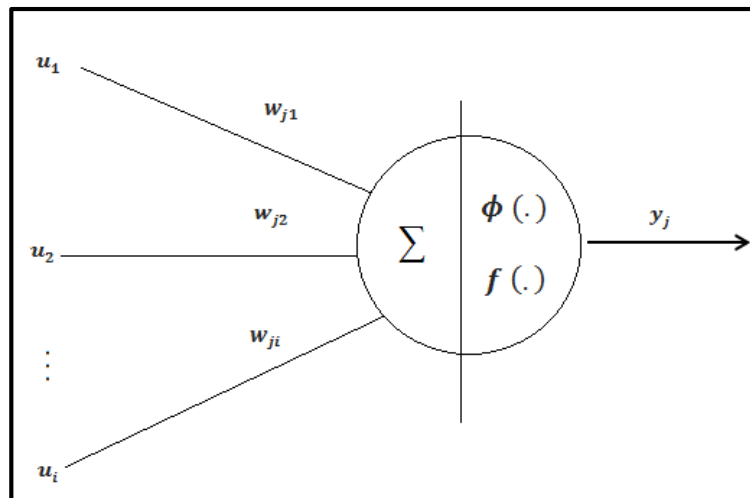


Figura 2 Forma reducida de una RNA

Matemáticamente, la descripción de la figura que describe el funcionamiento de la neurona en una red, se expresa de la siguiente manera:

$$v_j = \sum_{i=1}^N (U_i w_{ji})$$

Y

$$y_j = f(v_j + \phi_j)$$

Donde u_1, u_2, \dots, u_n , son las señales de entrada; $w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{ji}$ son los pesos sinápticos de la neurona j ; v_j es una combinación lineal o no lineal de la salida entre las señales de entrada; y ϕ_j posee el efecto de aumentar o disminuir la entrada a la función de activación. Al usar ϕ_j se aplica una transformación a la salida v_j del modelo señalado en la figura y se conoce como la entrada total o neta de la red y es, simplemente:

$$n_j = v_j + \phi_j$$

Ahora bien, para que la capa de salida sea activada, se necesita una función de transferencia o activación que sobre pase cierto umbral; este proceso se hace en la entrada total de la red (n_j). Una de las funciones de transferencia más usadas, son las que toman un valor entre -1 y 1, estas son funciones de tipo sigmoidea o escalón, la más utilizada es la tangente hiperbólica, que se define como:

$$f(n_j) = \frac{e^{n_j} - e^{-n_j}}{e^{n_j} + e^{-n_j}}$$

Siguiendo el orden anterior, se entra ahora en la etapa de entrenamiento de la red. El algoritmo más utilizado para los casos referentes a problemas económicos, es el algoritmo *Back Propagation*. Según Bechara et al “este algoritmo es capaz de resolver problemas que no son linealmente separables, reduce el tiempo de entrenamiento de la red por la utilización

del procesamiento paralelo para encontrar la relación entre patrones dados y no necesita la especificación de un algoritmo por anticipado para llegar al algoritmo correcto”⁵⁶.

La regla de aprendizaje para el *Back Propagation*, es de forma supervisada. Ella indica que existen un conjunto de entradas que se extienden por diferentes números de capas, generando consigo unas salidas que son comparadas con las salidas esperadas. La comparación genera una señal de error que comienza a moverse de atrás hacia adelante, o sea, desde las capas de salida hasta las capas ocultas de la red, provocando que los pesos de la red se reorganicen y se genere una mejor clasificación de los patrones, que permitan mejorar el entrenamiento de la red. Con todo, el objetivo final de este algoritmo es organizar los pesos asociados a la red, permitiendo por medio de ese ajuste, minimizar el error medio cuadrático.

Entendiendo el tipo de aprendizaje del algoritmo y su objetivo final, se procede a revelar su estructura matemática.

En la primera etapa del aprendizaje, se asignan datos de entrada que sirven como entrenamiento que van hasta i componentes:

$$U = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_i \end{bmatrix}$$

Seguido a esto, la etapa final del entrenamiento hace que la salida de la red de cada neurona se encuentre en función de la entrada total o neta de la capa de salida de cada neurona, esto se expresa de la siguiente forma:

$$y_L^S = f^S \left(\sum_{j=1}^m W_{Lj}^S y_j^0 + \phi_L^S \right)$$

Donde:

W_{Kj}^S : Pesos que unen la neurona j que es la capa oculta uniendo a la neurona L de la capa de salida, la cual tiene s neuronas.

⁵⁶ ARRIETA BECHARA, Jaime Enrique; TORRES CRUZ, Juan Camilo y VELÁSQUEZ CEBALLOS, Hermilson. Predicciones de modelos econométricos y redes neuronales: El caso de la acción de Suraminv. Semestre Económico, 2009. P. 101.

y_j^0 : Indica la salida de la neurona j de la capa oculta, que cuenta con n neuronas.

ϕ_k^s : sesgo de la neurona L capa de salida.

f^s : señala la función de transferencia de todas las neuronas de las capas ocultas.

En una etapa posterior los pesos y el sesgo van cambiando y mejorando así:

$$W^s(L+1) = W^s(L) - \alpha j^s (y^{s-1})'$$

$$\phi^s(L+1) = \phi^s(L) - \alpha j^s$$

El α es conocido como el factor de aprendizaje. Este coeficiente le agrega velocidad de convergencia al algoritmo para encontrar el mínimo global del error.

Por último, el algoritmo que propaga la señal del error por todas las capas que se encuentran en medio de la de entrada y salida (capas ocultas) de la red, se indica así:

$$J^s = \hat{F}(n^s)(W^{s+1})'J^{s+1}$$

Donde n^s es la entrada total de la capa s de la red, \hat{F} es la matriz de las derivadas de la función de transferencia.

Así pues, la señal del error que fue generada a través de la comparación entre la salida creada por los datos de entrenamiento y la salida final de la red (valor deseado), determina el error de cada unidad de salida de la manera:

$$\delta_L = t_L - y_L^s$$

Luego, el error asociado a cada esquema de la red es representado matemáticamente por:

$$eu^2 = \frac{1}{2} \sum_{L=1}^s (\delta_L)^2$$

Donde eu^2 se refiere al error cuadrático medio. Este error es generado para cada patrón de entrada u y δ_L enseñando el error en la neurona L para la salida asociada a las j neuronas.

Este proceso es repetido para cada una de las entradas de la red con el objetivo de que el error medio cuadrático sea el mínimo posible. Para concluir, se observa que el algoritmo *back propagation* es en esencia, un algoritmo de paso descendente.

Para que el algoritmo pueda hallar su mínimo en j variables de peso, es necesario aplicar la ayuda de técnicas de optimización numérica para conocer el mínimo de la neurona. Existen diversos algoritmos que hacen este proceso de forma eficiente y rápida, como lo es el caso del algoritmo de Levenberg-Marquardt.

Este algoritmo trabaja para las RNA partiendo de la función de los pesos de la red que fue creada a partir de la señal de error, generando así, j pesos (x_j) para toda la red. Para minimizar este error que involucra el proceso de aprendizaje, se necesita la matriz Jacobiana que determine la longitud y la dirección donde se encuentre el mínimo. Esta matriz hace referencia a las primeras derivadas del error con respecto a los pesos existentes en la red. El Jacobiano tomará una dirección negativa, ya que al decrecer, indica que el error toma una forma decreciente, señalando el criterio de organización de los pesos así:

$$X_{L+1} = X_L - \alpha S_K$$

Donde X_L es el tamaño donde parte X_{L+1} para moverse, el S_K (matriz Jacobiana) es la dirección que tienen que tomar los pesos para llegar al mínimo, en este caso, la dirección que tiene que tomar el error; α es la longitud que tendrá que desplazarse para encontrar el mínimo. Si existe un punto crítico en la matriz Jacobiana, se dice que es óptimo para ser el mínimo del error con respecto al peso analizado, después se pasa a evaluar la matriz Hessiana que es la segunda derivada del error con respecto a los pesos. Si esta resultase positiva definida, la matriz encuentra su punto mínimo, en caso contrario, se repite el proceso hasta que cumpla el criterio anterior.

6.2.2.1. Aplicación de las redes neuronales al pronóstico de exportaciones de café suave colombiano.

Para la aplicación de las redes neuronales en este trabajo, se hizo uso de una estructura que comprende 7 entradas, correspondientes a las tres variables independientes, sus rezagos en un periodo y la variable dependiente que es explicativa en esta etapa. Asimismo, fueron iteradas varias redes, en donde el entrenamiento de sus componentes permitió un eficiente comportamiento del modelo en la capa oculta con 125 neuronas. Los 276 datos usados fueron repartidos en el proceso de la siguiente manera: 70% para el entrenamiento, 15% para pruebas y 15% para validación. Finalmente, la red a usar será una *feedforward* caracterizada por realizar un mejor uso de variables económicas.

En el proceso de iteración, ejecutado de 5 en 5 neuronas para encontrar la red neuronal con el máximo mínimo de error. Para ello fueron usados dos algoritmos, a saber, Levenberg-Marquardt y el regulador Bayesiano; entre estos, se encontró que el primero de ellos ofreció mejor rendimiento con el error más pequeño.

A continuación, el gráfico 17 enseña cómo la RNA ha logrado procesar la información de sus 7 componentes para ofrecer una respuesta a nivel intramuestra sobre el comportamiento del nivel de exportaciones (línea azul). No obstante, el lector podrá observar que también existe otra línea que acompaña el gráfico (línea roja), la cual corresponde a las serie de datos de las exportaciones, aclarando que, las dos variables fueron transformadas.

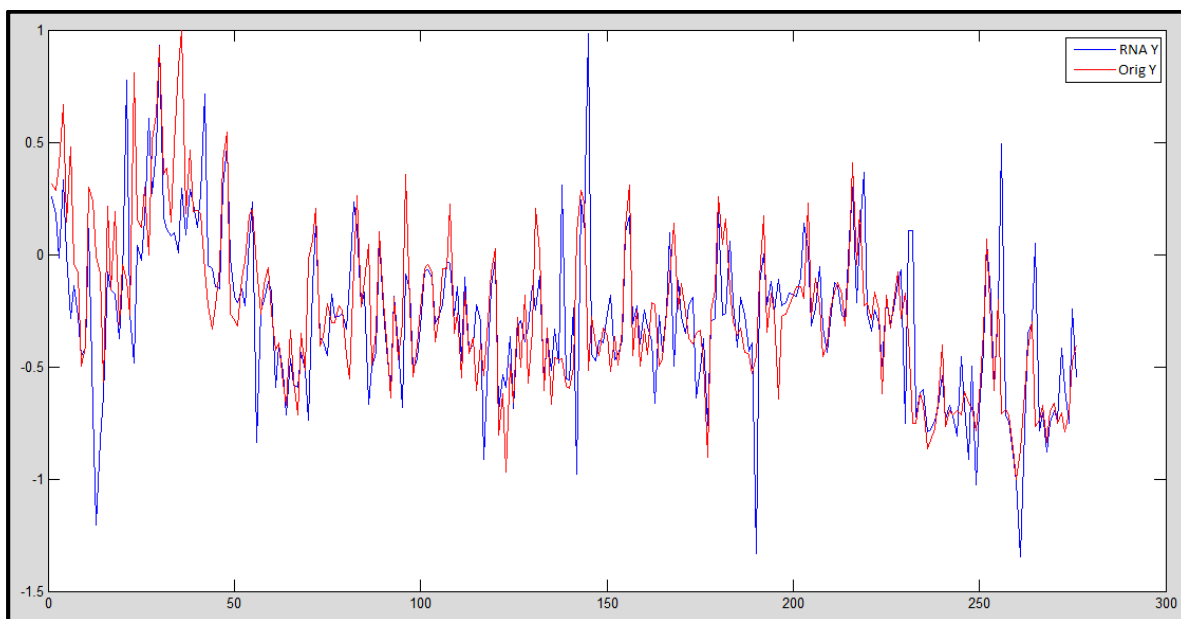


Gráfico 16 RNA Exportaciones de café colombiano Vs. comportamiento de la variable sin transformación. Intramuestra (1990-2012)

Visualmente pueden observarse dos cosas. La primera es que el eje de las abscisas no posee una leyenda en años, sino que, indica el tamaño de la muestra, y que en el eje de las ordenadas la información no es dada en cientos de sacos de 60 kg de café, obedeciendo en este caso al rango de normalización.

La segunda es el ajuste del proceso intramuestra de la red que se compara con la dinámica convencional de la variable por sí misma. Dicho ajuste es también resultado de la información iterada en las redes no sólo por parte de la variable dependiente que se hace explicativa en la entrada, sino por sus independientes y correspondientes rezagos, demostrando una vez más la importante relación que existe entre las exportaciones de café colombiano y los movimientos en el tipo de cambio, su precio internacional y el nivel de lluvias en el local de cultivos en diferentes periodos.

Ahora bien, el comportamiento fuera de la muestra para un modelo RNA, es decir, la predicción, debería ser bien más ajustado y preciso que si se hiciera por medio de métodos lineales, como ha sido la tesis de esta investigación. Por eso, en primer lugar y para verificación de ello, a la muestra de 276 datos se le han recortado 12 datos que equivaldrían

a las exportaciones del año 2012. Luego, mediante la aplicación del algoritmo Levenberg-Marquardt se hacen las mismas 125 iteraciones con un año menos enseñando, a través de la información trasformada por medio de la red *feedforward*. Los resultados son demostrados visualmente en el gráfico 18.

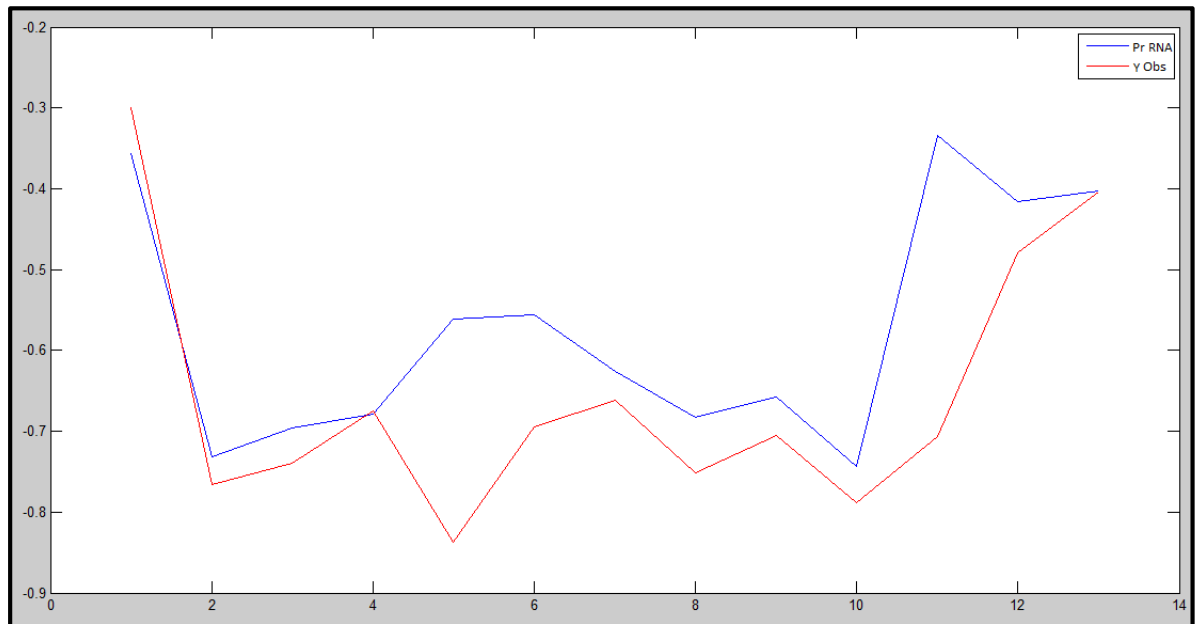


Gráfico 17 Pronóstico RNA vs observado exportaciones de café suave colombiano. 2012

En una mirada mucho más cercana a la forma gráfica de la predicción hecha por medio del modelo no lineal, es notorio un ajuste mucho más preciso que si se fuera a comparar con la predicción hecha para el mismo año con el uso del método econométrico (véase gráfica 14).

Posteriormente, por medio de la tabla 3 a continuación se enseñarán algunos de los estadísticos más destacados de ambas metodologías, a saber, RMSE (Raíz del Erros Cuadrático Medio), MSE (Error Cuadrático Medio), MAE (Error Absoluto Medio) y MAPE (Porcentaje del Error Medio Absoluto), tanto del modelo ARDL como la RNA, para realizar una comparación en términos de la bondad del ajuste intramuestra y fuera de la muestra y demostrar las ventajas que cada una de ellas posee, especialmente al respecto de sus capacidades predictivas. Ahora bien, para realizar estos análisis, se elaboró la transformación a los datos del modelo ARDL, aplicando la tangente hiperbólica para que los valores del

pronóstico tanto dentro como fuera de la muestra, se encontraran entre los valores de -1 y 1, y así, para que estos se encuentren en el mismo nivel de medición de la RNA.

Estadístico	<i>Dentro de la muestra normalizada</i>		<i>Fuera de la muestra normalizada</i>	
	ARDL	RNA	ARDL	RNA
RMSE	0,3118	0,1401	0,7487	0,3013
MSE	0.0972	0,0196	0,5606	0,0908
MAE	0,2349	0,0916	-0,6370	0,0108
MAPE	-1.0356	0,0108	-1,1204	0,0029

Tabla 3 Estadísticos de error de estimación RNA *feedforward* vs ARDL

Fuente: cálculos propios a partir de datos obtenidos por MatLab 2014a, Microsoft Excel y Eviews 8.0, 2015.

La información proporcionada ofrece una visión más exacta sobre el ajuste de pronóstico desenvuelto por ambos métodos. Se observa que mediante el uso del modelo RNA *feedforward* se obtienen mejores resultados inclusive dentro de la muestra, demostrando sus bondades en el momento de realizar predicciones cuando lograr capturar efectivamente las dinámicas reales de los componentes desarrollados.

Ahora bien, en el siguiente grafico se observa el comportamiento del pronóstico, tanto para la red neuronal artificial, como para el modelo ARDL, siendo estos dos comparados por la variable observada.

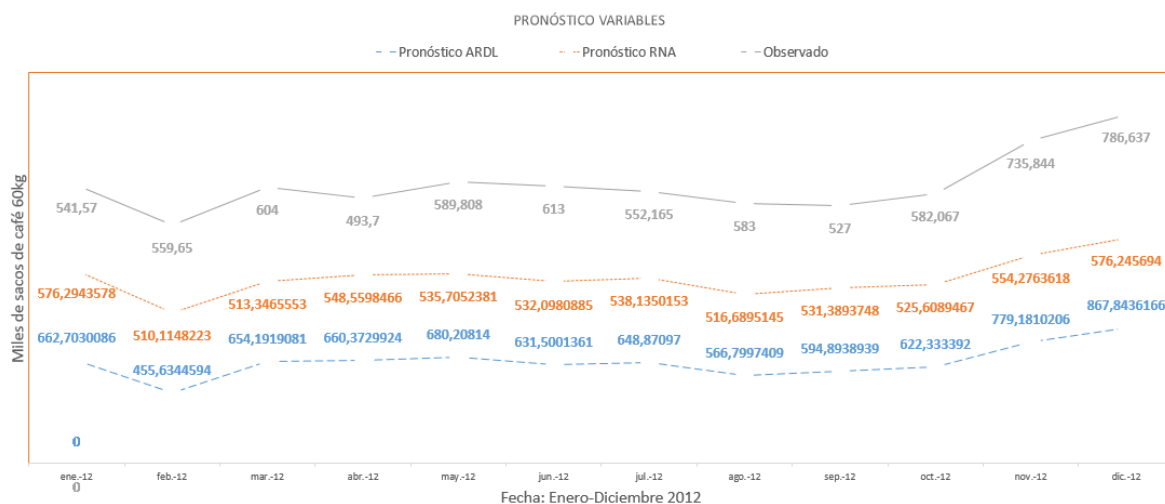


Gráfico 19 Pronóstico RNA, Pronóstico ARDL y variable observada de exportaciones de café suave colombiano. 2012

De igual manera, cabe resaltar la importancia que posee el previo conocimiento de la teoría económica que hay detrás de la elección de las variables aquí tratadas, pues solo así se posibilitó un buen entrenamiento de las redes, al reconocerse relaciones de causalidad. Sin conocerse los fenómenos, la conexión obtenida a través del software (MatLab2014a) entre las diferentes capas de la red sería incorrecta, ofreciendo resultados errados y/o imprecisos.

Independientemente del uso metodológico para la predicción, RNA *feedforward* o ARDL lo cierto es que el panorama para las exportaciones de café suave colombiano se muestra complicado, pues se ha observado explícitamente que su desarrollo depende en parte determinante de choques externos difíciles de mitigar, a saber, los fenómenos climáticos, el tipo de cambio y su precio en los mercados internacionales. No obstante puede notarse un pequeño crecimiento en el flujo de exportaciones para el periodo pronosticado, que según la Federación Nacional de Cafeteros, la cifra producida del 2012 “supera en un 2% el volumen producido en el mismo mes del año anterior”⁵⁷.

⁵⁷ FEDERACIÓN NACIONALDE CAFETEROS. Una mirada al estado actual y al futuro de la producción de Café en Colombia. Sitio web oficial de la FNC, 2012.

Aun así, es de suprema importancia tanto para el futuro de la caficultura colombiana como para el bienestar de las familias campesinas que se sostienen de ella, concentrar esfuerzos por parte de gobiernos, asociaciones de pequeños y medianos productores, compradores internacionales, el gremio nacional, además de una sociedad en general que se ha desarrollado alrededor de la cultura café, en el diseño de oportunas políticas públicas, pues difícilmente se podrán equiparar los choques externos hacia la producción del grano por otro mecanismo que no sea el de la acción pública encaminada hacia la construcción de mecanismos de prevención y mitigación de los mismos.

De igual manera, con un café de calidad en los mercados internacionales, el país podrá adquirir con mayor facilidad poder de negociación en esos escenarios; asunto que podría dejar grandes beneficios en el aumento de la demanda así como en la participación sobre el establecimiento del precio a favor de los exportadores, que claro está debería ir en la misma vía de la atenuación de los trastornos ocasionados por la revaluación o devaluación de la moneda nacional.

En verbigracia, la caficultura colombiana depende más de las acciones internas que puedan ejecutarse en contra de los impactos negativos que dejan las dinámicas desarrolladas en los mercados internacionales de los *commodities* y del cambio climático extremo. En ello, son los gremios cafeteros los grandes responsables de hacer explícitas sus necesidades y propuestas para que el ente gubernamental implemente de forma oportuna las acciones necesarias para el rescate de una actividad que mantuvo el orden macroeconómico del país durante más de un siglo, e incentivó de manera fehaciente gran parte del desarrollo de los colombianos.

7. CONCLUSIONES

Tanto el uso de modelos econométricos como de Redes Neuronales Artificiales, son técnicas igual de efectivas para la elaboración de un pronóstico. La escogencia de una técnica a la otra, depende de las necesidades del investigador.

A la hora de elegir el mejor modelo, la ventaja la posee la RNA, ya que en su etapa de aprendizaje lo hace por medio del algoritmo *Back Propagation*. Este algoritmo, compara la salida obtenida por la red estimada con la esperada, generando así, un error de estimación. El resultado obtenido de esta diferencia, comienza a moverse de atrás hacia adelante, es decir, desde la salida de la red hasta su entrada, generando esto, la reorganización de sus pesos para que la etapa de entrenamiento sea más eficiente. En conclusión, se hace para minimizar el error medio cuadrático para la escogencia del mejor modelo.

Ahora bien, en los modelos econométricos y sus técnicas para la escogencia de estos, pueden dejar de lado componentes importantes que impacten en sus resultados, y así, no estimar el mejor modelo de todos.

La implementación de la técnica para elaborar las RNA ha dejado de lado etapas como la linealización y la comprobación de características econométricas elementales como la heteroscedasticidad, la normalidad de los datos, estacionariedad, cointegración, correlación, etc. Y así, reducción de tiempo de modelación. No obstante, algunos estudios requieren el empleo de este tipo de pruebas que incluyen determinantemente ese tipo de análisis, los cuales reconocen comportamientos específicos de las variables. Para ello, se aconseja emplear el uso de modelos econométricos.

En este sentido, para resumir lo mencionado, se realiza un pequeño cuadro señalando lo que se tiene y no con cada una de las técnicas:

RED NEURONAL ARTIFICIAL	MODELO ECONOMETRICO
Elige de manera más eficiente el mejor modelo (<i>Back Propagation</i>)	Describe de manera mejor manera el modelo, debido a los coeficientes generados por la estimación (mejora el análisis económico del fenómeno estudiado)
Menor tiempo de iteración para la estimación del modelo.	
No implementación de técnicas estadísticas para la validación de modelos.	

Tabla 4 Comparativo Redes Neuronales Artificiales y modelos econométricos.

Por otro lado, dado que la naturaleza de este trabajo era observar las bondades de ajuste en la predicción a través del contraste de estas metodologías con un año conocido para comprobar dicha evaluación, pudo constatarse realmente que los componentes que influyen sobre el nivel de exportaciones de café colombiano no presentaron un comportamiento que les favoreciera, lo cual se suman a fuertes coyunturas político-económicas como la neoliberalización de la economía en la década 1990 y el rompimiento del pacto de cuotas a finales de las década de 1980 que marcaron y condujeron su historia; al igual que condiciones climáticas extremas que han prácticamente determinado el volumen y la calidad del grano producido. Por ejemplo, para el año de pronóstico, prevalecieron las secas en las regiones andinas que estimularon la propagación de incendios⁵⁸ y otros estragos para la agricultura, panorama desfavorable para un mayor aumento en la cantidad de exportaciones y el desarrollo de la caficultura en general.

En este sentido, se concluye que el ambiente de exportaciones de café en Colombia ha sido históricamente desalentador, pues se ha demostrado en este trabajo que son más las

⁵⁸ SECRETARIA DISTRITAL DEL AMBIENTE. comportamiento del estado del clima en Colombia durante el periodo Enero 2012 a Enero 2013. Sitio web oficial de la Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá, 2013.

condiciones externas que las internas quienes afectan el nivel de exportaciones, lo cual también se acompaña de una política pública poco eficiente para hacer frente a los subsecuentes impactos que ha traído consigo la volatilidad del precio de café y el tipo de cambio.

Adicionalmente, y como se ha venido mencionando a lo largo de esta investigación, el pequeño y mediano agricultor se encuentra inmerso en un ambiente político, social, económico, cultural y ambiental conflictivo sin poseer mayores herramientas para el control de las afecciones. Por ejemplo, el tratamiento de las plagas y enfermedades de sus cafetos, o más aun la oportuna prevención frente a los estragos del cambio climático, deberían ser asuntos transversales en un país que ha vivido de la caficultura, pero la evidencia histórica que señalada ha demostrado todo lo contrario.

Seguidamente, el establecimiento del precio internacional del producto y del tipo de cambio que han venido afectando notoriamente la estabilidad económica de la caficultura y sus caficultores, deberían ser enfrentados mediante las capacidades y potencialidades que ha venido desarrollando un país cafetero como Colombia, por medio de un adecuado aprovechamiento de las condiciones que está presentando el mercado internacional en términos de una nueva demanda más activa y exigente por los cafés especiales, en donde el grano nacional ha venido ganando particular interés. Así las cosas, no es de extrañar que hayan sido las situaciones de orden externo y una política interna poco efectiva al respecto, los determinantes de las condiciones en las cuales se ha venido desarrollando la caficultura y la calidad de vida de sus caficultores.

Según la Federación Nacional de Cafeteros⁵⁹, Estados Unidos y Japón son los dos mayores demandantes de café suave colombiano en el mundo, y a juzgar por la alta concentración de población que poseen estos dos países, el panorama para la exportación debería ser positiva. De igual manera, la preferencia y consumo de café por té en algunos países es alentadora como en Ecuador (97,4%), Brasil (97,4%), Costa Rica (96,9%), México (89,7%) y Perú

⁵⁹ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. ¿Café o té? Un panorama del consumo mundial. Sitio web oficial de la FNC, 2014.

(80,8%)⁶⁰. Así, aun cuando Brasil es el mayor productor y exportador de café en el mundo, vale la pena rescatar que en términos de calidad el café colombiano es más competitivo, incluyéndose en la línea de las bebidas calientes tipo gourmet para los últimos años. Con respecto a lo anterior, se comenta que “la penetración del café en el mercado de las bebidas calientes presenta un constante aumento, destacándose el significativo avance en las tendencias de café tipo gourmet.

Asimismo, la población joven toma cada vez más relevancia dentro del mercado local, reflejando nuevos hábitos de consumo”⁶¹. Dado este escenario, y en concordancia con las declaraciones que realizaban Cano et al en capítulos previos, las nuevas oportunidades que se vienen desarrollando en el mercado internacional del café pueden llevar a la producción nacional a atraer una mayor demanda (dada la disposición de consumo observada), en caso que ésta fuera realmente potencializada y bien estructurada.

Finalmente, debe destacarse el alto valor social que adquiere la cultura cafetera y por ello debe prevalecer el rescate de las tradiciones como productor de interés al interior de la demanda de un nuevo grupo de consumidores que recientemente han dirigido su atención hacia aspectos propios de las regiones colombianas, especialmente jóvenes de las latitudes occidentales. Así, no debe olvidarse que la producción del grano mantuvo durante mucho tiempo las finanzas del país y direccionó la política macroeconómica en buena medida, razón por la cual cientos de familias campesinas han dependido y dependen del nivel de desarrollo de esta actividad, razón por la cual deben concentrarse las miradas hacia su rescate como producto excelso colombiano frente al resto del mundo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

⁶⁰ *Ibíd.*

⁶¹ FEDERACIÓN NACIONALDE CAFETEROS. Óp. cit., 2012.

- Alonso , G., Hernández, J. N., Pulido, J. D., & Villa, M. L. (2008). Medidas alternativas de tasa de cambio real para Colombia . *Borradores de economía*, 1-52.
- Alonso C., J. C., & Cabrera, A. (2004). La tasa de cambio nominal en Colombia. *Apuntes de Economía*, 1-30.
- Arrieta Bechara, J. E., Torres Cruz, J. C., & Veslásquez Ceballos, H. (2009). Predicciones de modelos econométricos y redes neuronales: El caso de la acción de Suraminv. *Semestre Económico*, 95-109.
- ATSALAKIS, G. S., & VALANAVIS, K. P. (Abril de 2009). Surveying stock market forecasting techniques – Part II: Soft computing methods. (Elsevier, Ed.) *Expert Systems with Applications*, 36, 5932-5941.
- Banco de la República. (Junio de 2014). El fenómeno de El Niño en Colombia: caracterización y posible impacto. *Reportes del Emisor*(182), 1-7.
- Barón, J. D. (2010). *Geografía económica de los Andes Occidentales de Colombia. Documentos de trabajo sobre Economía Regional*. Cartagena: Banco de la República de Colombia.
- Cano Sanz , C. G., Vallejo Mejía, C., Caicedo Garcia, E., Amador Torres, J. S., & Tique Calderón, E. Y. (2012). *El mercado mundial del café y su impacto en Colombia*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2014, de Borradores de Economía. Banco de la República de Colombia: <http://www.banrep.gov.co/es/borrador-710>
- Collantes Duarte, J. V. (2004). Predicción con redes neuronales: Comparación con las metodologías de Box y Jenkins. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 146-160.
- de Arce, R., & Mahía, R. (2011). *Conceptos básicos sobre la heterocedasticidad en el modelo básico de regresión lineal*. Recuperado el Agosto de 2015, de Sitio web oficial Universidad Autónoma de Madrid: https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rarce/pdf/heterocedasticidad.pdf
- Dieblod, F. (Enero de 1999). *Elementos de Pronósticos*. Recuperado el 3 de Febrero de 2015, de Universidad Nacional Sede Medellín: http://www.medellin.unal.edu.co/~ndgiral/Archivos%20Lectura/Archivos%20curso%20Series%20EIO/01.Capitulo_1.pdf
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. (2012). *Una mirada al estado actual y al futuro de la producción de Café en Colombia*. Recuperado el Noviembre de 2015, de Sitio web oficial de la FNC: <http://www.cafedecolombia.com/cci-fnc->

es/index.php/comments/una_mirada_al_estado_actual_y_al_futuro_de_la_produccion_de_cafe_en_colombi/

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. (Febrero de 2014). *¿Café o té? Un panorama del consumo mundial*. Recuperado el 2015, de Sitio web oficial de la FNC: http://www.cafedecolombia.com/bb-fnc-es/index.php/comments/cafe_o_te_un_panorama_del_consumo_mundial

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2004). *El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2004*. Recuperado el Noviembre de 2014, de Federación de Cafeteros: <http://www.federaciondefcafeteros.org/static/files/Comportamiento%20Industria%20Cafetera%202004.pdf>

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2009). *El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2009*. Recuperado el Noviembre de 2014, de Federación de Cafeteros : <http://www.federaciondefcafeteros.org/static/files/Informe%20de%20la%20Industria%202009%20internet.pdf>

Fernández, M. E. (Marzo de 2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores. Evaluación del riesgo agroclimático por sectores*. Recuperado el Agosto de 2015, de Sitio web oficial IDEAM - Cambio Climático: <http://www.cambioclimatico.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>

Gestal Pose, M. (04 de Diciembre de 2009). *Introducción a las Redes Neuronales Artificiales*. Recuperado el 8 de Febrero de 2015, de Sabia Universidade da Coruña: <http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/RNAtutorial/node4.html>

Granger, C. (1986). Developments in the study of cointegrated economic variables. *Oxford Bulletin of economics and statistics*, 213-228.

Jaramillo, C. F. (1998). La Agricultura Colombiana en la década del noventa. *Revista de Economía de la Universidad del Rosario*, 9-39.

Machado C., A. (2001). El café en Colombia a principios del siglo XX. En Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, *Desarrollo económico y social en Colombia. Siglo XX* (págs. 77-97). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Ortiz , R. (Febrero de 2012). *El cambio climático y la producción agrícola* . Recuperado el 15 de Enero de 2015, de Banco Interamericano de Desarrollo: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36736182>
- Peña Q., A. J., Ramirez B., V. H., Valencia A., J. A., & Jaramillo R., Á. (Enero de 2012). *La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia*. Recuperado el Agosto de 2015, de Avances Técnicos Cenicafe: <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0415.pdf>
- Pérez Mesa , J. C., de Pablo Valenciano, J., & Levy Manguin , J.-P. (2007). Empleo de redes neuronales de base radial a un modelo econométrico de exportacion de tomate. *CIENCIA ergo sum*, 6-14.
- PNUD Colombia. (Junio de 2004). *Eje Cafetero. Un pacto por la región. Informe Regional de Desarrollo Humano* . Recuperado el Agosto de 2014, de PNUD: <http://www.pnud.org.co/region/Informe2004EjeCafetero.pdf>
- PNUD Colombia. (2011). *Colombia rural. Razones para la esperanza. Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011*. Bogotá: PNUD Colombia.
- Puyana, A., & Oxon , P. (Enero - Diciembre de 1993). La enfermedad holandesa y las bonanzas petroleras y cafeteras en Colombia. *Ensayos sobre economía cafetera*(10), 51-74.
- Rosales Fernandez, J. (2001). *Redes Neuronales Artificiales*. Recuperado el 23 de Enero de 2015, de Boletín Electrónica. Universidad San Martín de Porres: <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info32/pag4.htm#redes>
- Ruelas Santoyo, E. A., & Laguna González, J. A. (2013). Comparación de predicción basada en redes neuronales contra métodos estadísticos en el pronóstico de ventas . *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 91-105.
- Salinas Callejas, E. (2004). El impacto de la onda cíclica de los precios del café en los productores de México. *Análisis Económico*, 269-291.
- Santana, J. C. (2006). Predicción de series temporales con redes neuronales: una aplicación a la inflación colombiana. *Revista Colombiana de Estadística*, 77-92.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (ambientebogota.gov de 2013). *Comportamiento del estado del clima en Colombia durante el periodo Enero 2012 a Enero 2013*. Recuperado el Noviembre de 2015, de Sitio web oficial de Secretaría Distrital de Ambiente: Ambiente Bogotá:

<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2392139/ANEXO+6+Compor.del+estado+del+clima+en+Colom.ene+2012+ene+20.pdf>

- Toro Zuluaga , G. (2005). Eje cafetero colombiano: compleja historia de caficultura, violencia y desplazamiento. *Revista de Ciencias Humanas - UTP* , 127-149.
- Velásquez Henao, J. D., & Aldana Dumar, M. A. (2011). Modelado del precio del café colombiano en la bolsa de Nueva York usando Redes Neuronales Artificiales. (U. N. Medellín, Ed.) *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60(2), 4129-4144.
- Villada , F., Cadavid , D. R., & Molina, J. D. (2008). Pronostico del precio de la energía eléctrica usando redes neuronales artificiales . *Revista Facultad de Ingenieria Universidad de Antioquia*, 111-118.
- Villada, F., Muñoz, N., & García, E. (2012). Aplicación de las Redes Neuronales al Pronóstico de Precios en el Mercado de Valores. *Información Tecnológica*, 11-20.
- Zamurrad Janjua, P., Samad, G., & Khan, N. (2014). Climate change and wheat production in Pakistan: An Autoregressive Distributed Lag Approach. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 13-19.